

コイナ地震調査

Survey on Koyna Earthquake

岡本舜三*・田村重四郎*

Shunzo OKAMOTO and Choshiro TAMURA

従来安定な地域と考えられていた Bombay 南々東約 200 km の地点に起こった Koyna 地震について、UNESCO 調査団員として本年 1 月より 4 月まで約 40 日間現地調査を行ない検討の後、最終報告書を UNESCO に提出した。以下本地震の概要と問題点について記述する。

1. 概要

昭和 42 年 12 月 11 日、インド Maharashtra 州、Koynanagar で起こった地震は、180 人の死者、2,272 人の負傷者を出し、一般家屋はもちろん、道路、港湾、重力ダム等公共施設にも大きな損害を与えた。震源の位置は $17^{\circ}22.4'N$ $73^{\circ}44.8'E$ で、Bombay の南々東約 200 km の地点であって、マグニチュード 6.5~7 (Richter scale)、震源の深さは 10~20 km と見られている。地震に感じた範囲は半径 600 km の地域にわたってインド半島の東海岸に達し、最大震度は MM 8、その範囲は東西 6~7 km、南北 17 km の細長い区域である。

インド政府の要請で、UNESCO は地震調査団を現地に派遣した。調査団は岡本が団長となり、地質学者として J. B. Auden 博士(英)、地震学者として I. E. Gubin 教授(ソ)および地震工学者として田村の 4 人で構成された。昭和 43 年 1 月 17 日より 2 月 3 日まで第一次調査が行なわれ、この資料に基づき研究を行ない、3 月 25 日より 4 月 13 日まで第二次調査が実施された。空からの地質学的調査、災害地の踏査ならびに Koyna ダムとそれに関連した施設の被害調査等がおもなものである。調査の進展に伴い、ダムの修繕方法あるいは地下発電所内の機械的被害等、特殊の問題が提起された結果、調査団長の要請により、特殊事項についての専門家の調査も行なわれ、それは現在もなお続いている。調査団の調査活動は、インド政府が組織した調査団と一緒に進められたもので、国際性の豊かさにもかかわらず、終始なごやかな、しかもきわめて活動的な調査が行なわれたと自負している。

2. 調査の特徴

この地震に対する調査の目的として特に挙げなければならないのは、

- 1) この地方の地震活動に関する歴史的経過の調査
 - 2) Koyna ダムおよびその他の施設について災害復旧方策と耐震設計上の震度の検討
- である。これらについて略記したい。

- (1) 震央は Deccan 高原西端近くアラビヤ海岸より

* 東京大学生産技術研究所第 1 部

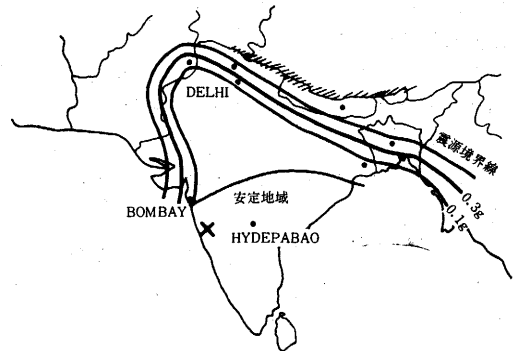


図 1 インドにおける設計震度分布

約 50 km 入った所であり、この地方の地表面は厚い熔岩におおわれ、東に向かってほぼ 1 度程度のこう配でゆるやかに下降している。基盤は Precambrian era のもので、従来は安定な地盤で地震はないものと考えられていた。

ところが 1962 年 Koyna ダムが完成して湛水を開始してより、湛水区域に限ってマグニチュード 3~4 の小地震が群発し始めた。1967 年 9 月 13 日に至り、湛水区域内に震央をもつマグニチュード 5~5.5 の地震が起こって、震央に近いごく局部的な地域で一般家屋に中程度の損害を与えたのである。それより以後も小地震は終わることなく、12 月 11 日の地震へとつながっている訳である。ここで二つの問題がある。一つはダムの建設と地震の関連であり、一つは安定と思われていた地域に強震が起こったことに関してである。しかしながら調査は、さらに群発小地震と強震との関係に焦点がしばられた。種々の調査の結果、この地方では約 130 年前に大きな地震があり、地震記録を年代順に見ると、100 年またはそれ以上の休止期間と 10~20 年の活動期間が交互にあって、しかも震源が次第に南下していることがわかって、この地域は決して地震のない所ではなかったことが判明してきた。地質調査の結果、北々西~北に向かう断層が多く、西海岸に沿って断層の走っていることが推定されたのである。Precambrian era の安定した楯状地の周辺で地震が発生しているのは、インド楯状地に限らずカナ

ダ桶状地にもあるのである。

さて湛水による小地震との関連であるが、湛水によって地表に加わる圧力、地震エネルギー等を検討した結果、直接関係はないと結論した。過去の地質年代においてダムサイトが支持していた荷重にくらべて、湛水による荷重はきわめて小さく、また湛水の地下への透水による岩石の摩擦抵抗の減少は地質ならびに地形より見て考えにくく、したがって上記の結論になったのである。しかしながら、地震の発生になんらかの引金的作用をしたことを完全には否定する理由はない。

たしかに地震活動に長い休止期間があれば、地震がないか、または小さいとややもすれば考えられがちであるが、これは起こる地震が小さいという事とは、まったく別なものである。もちろん構造物の重要性、耐用年数、構造物の被害により起こると推定される災害の大きさ等によって、その意味は異なってくるのであるが、これは耐震設計において十分考慮されなければならない事からである。

(2) この地震の震央の近くに、高さ 103m、堤頂長 853m コンクリート直線重力式の Koyna ダムがあった。そしてこの地震によって、ダム本体中央部分で、ダムの高さの約 2/3 の所で、上流側で延長 100m、下流側で延長 150m の水平のクラックが入り洩水が生じたのである。このようにコンクリート重力ダムが地震によって堤体自体に被災したのは大ダムでは他に例がない。ダムの標準断面は、本邦におけるコンクリート重力ダムのそれとはかなり異なっており、耐震性についてはほとんど考慮が払われていなかったのである。ダムに設置されていた地震計の記録では、ダム軸方向、ダム軸直交方向ならびに鉛直方向で最大加速度はそれぞれ 660 gal, 510 gal, 360 gal であった。ダム軸直交方向について、加速度記録から地盤の動きを逆算した結果、同方向で最大加速度として 360 gal が得られ、その卓越周期は 15~16 cps で、鉛直方向の記録の卓越周期と一致している。

堤頂における被害の状況より、堤頂における最大加速度は 0.7g 以上と推定されたのであるが、当研究所において模型による振動実験と、光弾性振動試験を行なって検討した結果からは、堤頂には 0.9g 程度の最大加速度が地震時に生じたことがわかったのである。Koyna ダムはこの地震では、下流面の屈曲する標高付近で特に危険であったであろうことは明らかで、大きな災害のなかったことは幸運というほかはない。重力ダムは一種の剛体のごとく見られ、ごく安全なものであると一般に考えられやすいが、この地震においてこのように大きな加速度が生じ、しかも被災したことは今後の耐震設計に重要な資料を与えるのである。地震時の堤体各部の最大応力はそれを生ずる静的荷重に換算すると、水平方向に 0.5g、鉛直方向に 0.3g の荷重がかかった時の応力に相当

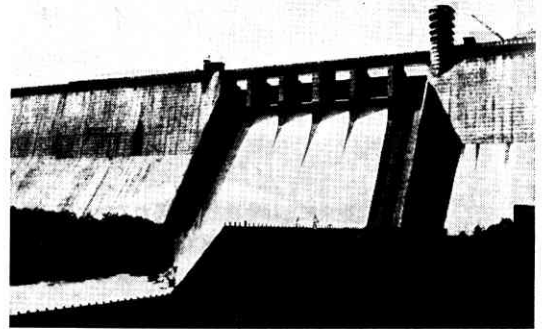


写真 1 Koyna ダム

する。このような地震は本邦においては予想されない地震ではなく、したがってダムその他重要構造物について構造材料の動的破壊強度を考慮した上合理的な設計方法が確立されねばならない。

調査団は Koyna ダムの修復について、モンスーン襲来までの一時的修理として堤体の部分的プレストレッシングおよび堤体クラックのエポキシ樹脂による完全なグラウト工事の実施、またダムの永久的補強のために、下流側にコンクリートを打ち継ぐことを提案したのである。

さらに地震時に堤体に作用したいわゆる震度が上記のように水平に 0.5g 鉛直に 0.3g の値を示したことを参考とし、今後これと同程度の地震に対して、ダムが安全であることを前提にして同ダムの設計震度について検討を行なった。地震時には最大応力が瞬時的に生じ、早い速度の荷重に対してはコンクリートの強度が増す等のことを考慮して、調査の結果、ダムの断面が通常重力ダムの断面形状をもつものとし、設計震度は水平方向のみ考え、クラックのあるブロックに対しては上流より下流に向かって 0.2、逆方向に対し 0.1、クラックのないブロックに対しては、同様に下流に向かって 0.12、上流に向かって 0.06 の震度を採ることを勧告した。この場合堤体には引張応力が生じてはならないものとした。

3. 震災地踏査、雑感

(イ) Karad にて

Koyna ダム東方約 40 km の点に Karad という大きな町がある。1月19日より22日までの4日間、調査団の現地調査の基地となったのであるが、気温は 20°C 前後で一年の中で最も良い季節を過したことになった。町の一角を仕切った広い敷地には、3、40m もあると思われる大木が茂り、野猿が枝から枝に跳び熱帯の花は鮮やかな色で美しかった。街では夕刻になると、白い布をまとった大勢の人々が、鼻綱のない牛とともに広くない道を悠々と歩き、建て込んだ家並は塗料のせいであろうか青一色に近い。一見非常に貧しいように見えるが、その中に何となく豊かさを感じるの、同じ東洋という基盤に立っているせいかも知れない。宿舎は石をコンクリ



写真 2 調査団宿舎 (Karad にて)

ートで固めたものでよい建物であるが、地震のため壁にはクラックが入っていた。

この町はずれに Koyna 河 (Krishna 河支流) と、Krishna 河との合流点がある。両河川はここで一直線上で合流し、これと直交して Krishna 河本川が流下している。そのため、しばしば両河川は流れの方向が逆になるということである。

(ロ) 震央付近にて

熔岩のため景色が全体に茶色に見える。Kadoli の町はダムの南方およそ 5 km の所において、道路といわず畠といわず、ほぼ南北方向に地割れが走っている。割れ目の幅は 3~15 cm 程度で、民家の被害は烈しいというほかなく、部落の家屋全部が全壊してしまっていた。

多くの家は、日干し煉瓦を土で積み上げたもので、屋根は木トラスの上にスレート瓦や波形トタンでふいたものが多い。石をコンクリートで積み上げたものが被害が比較的少ないの是一見してわかるのである。現地の材料を用いていかにして耐震性に富んだ家屋を作るかは現地において研究すべき課題であろう。

Koyna 河にかかる古い石造りの 7 スパン連続アーチ橋は河心部で 3 スパン落橋した。このすぐ近くに、鉄筋コンクリート T 型梁形式の新しい橋がかかっているが、損



写真 3 震央付近での民家の被害

傷は見受けられなかった。

崖の崩落や墓石の移動等もちろんあるが、ダムの西約 10 km の Pophali に至る間、落石による道路の縁石の倒壊が随所に見られた。

(ハ) Roorkee 大学にて

第二次調査の際、4月2日~4日の間、New-Delhi 北方約 200 km にある Roorkee 大学を訪れた。ここでは Koyna ダムの模型による振動破壊実験が行なわれ、また煉瓦造りの家屋の静的破壊実験も実施され、地震に対する補強方策の研究が進められていた。この大学には地震工学で著名な Jai Krishna 教授がいる。耐震工学の分野で特に目立ったのは、土の動的な性質について種々の研究が意欲的に進められていることであった。

Roorkee の町は大学のみ町といつてよく、アジアやアフリカの各国の技術者のため、立派な宿泊設備があった。インドがこのことを非常に重視し、大変な努力と力を注いでいることがうかがわれた。

岡本は、多くの学生、教官、職員に対し、日本の耐震工学について約 2 時間講義を行ない好評を博した。

(ニ) New-Delhi にて

現在の New-Delhi は 8 番目の Delhi であるというこの首都は漠々として広い。広い道路はよく整備されているが、ほぼ正三角形に近い網の目に組立てられているのは、慣れない筆者には方向の見当がつかず不便であった。季節が 4 月であるのに木の葉が散って夏の暑さが推量されるのである。4 月始め気温は最高 33.5°C であった。

1947 年に独立して、まだ 20 年そこそこのこの国ではやはり国家意識、民族意識は高く、自己主張が強いことが感じられた。第二次世界大戦での印度の独立に対する日本の寄与が高く評価されており、対日感情は非常によい。この事は調査団の活動に大いに貢献した。

(1968 年 7 月 17 日受理)



写真 4 家屋の模型の破壊実験 (Roorkee 大学にて)