

飛石現象の解析的及び実験的検討

震央域における地震動強さの評価

Analytical and Experimental Study of Boulder Upthrow Phenomenon Evaluation of Near-Field Ground-Motion Intensity

(土木建築部 建築・建設G)

(Civil and Architectural Engineering Department,
Power Plant Architectural Engineering Group)

地震の震央近傍でみられる飛石現象は、上下方向に瞬間的・局所的に重力加速度以上の地震動が作用した可能性があり、震央域の地震動強さを評価する上で検討すべき重要課題となっている。本研究では、既往研究の調査により飛石現象が生じる共通条件を整理し、数値解析的検討によって石の飛上り現象の解明を行うとともに、「石の飛上り条件式」を提案することによって飛石現象から震央域の地震動強さを定量的に評価した。さらに、振動台による模型実験によって数値解析の妥当性を確認した。

The boulder upthrow observed near the epicenter can be the result of an instantaneous local action of a vertical ground motion intensity larger than the gravitational one, and it is an important subject to be studied for the estimation of the near-field ground-motion intensity. In this research, common conditions of the boulder upthrow are sorted from investigations of past research to clarify the boulder upthrow based on numerical analysis, and the near-field ground-motion intensity is quantitatively estimated by a proposed "boulder upthrow condition formula". Further the correctness of this formula is confirmed by using shaking table experiments.

1 研究の背景及び目的

最近のいくつかの内陸地震では、震央近傍で飛石現象が起こっていることが報告されており、この現象は、震央近傍における地震動強さを評価する上で検討課題として挙げられている。

本研究では、飛石現象を数値解析及び模型実験を通して解明し、震央近傍における地震動強さを評価することを目的とした。

2 研究の概要

(1) 飛石現象に関する既往研究の調査

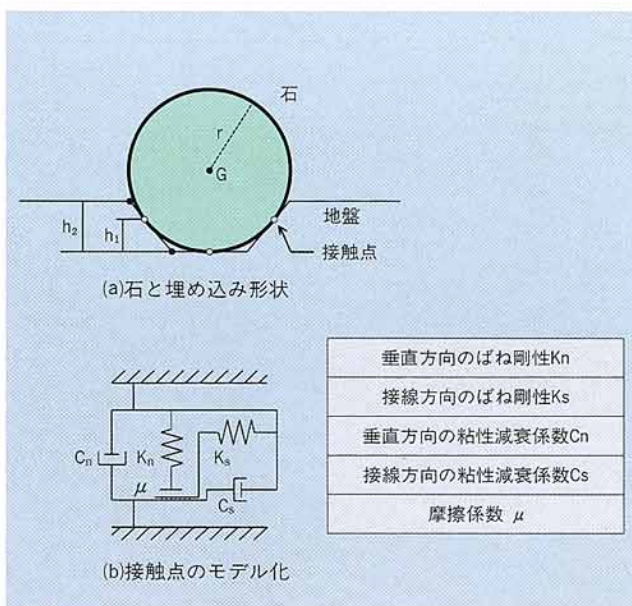
飛石現象に関する既往研究の調査を行い、1) 断層からの距離が5 km程度以内であること、2) 薄い表土に覆

われており、石は表土に多少埋め込まれていること、3) 石の大きさとしては、直径数10cm～1 m程度（重量50kg～2 t程度）のものが飛んだ形跡がみられる、等の共通条件を抽出した。

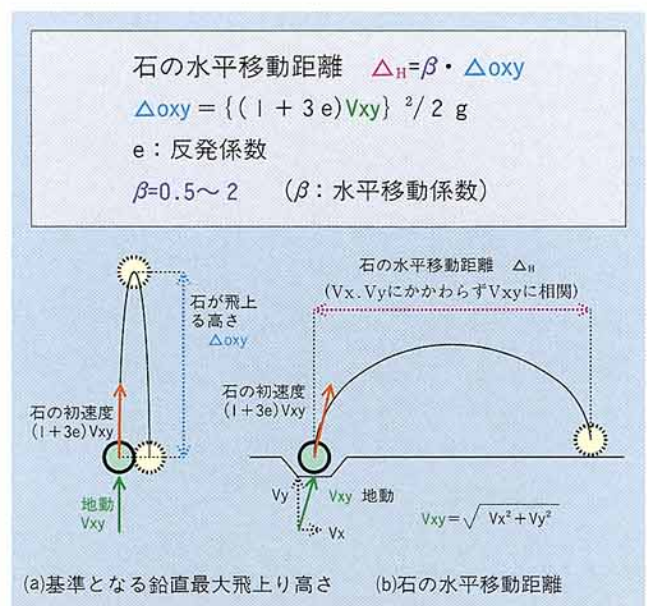
(2) 飛石現象の数値解析的検討

数値解析に先立ち、飛石の寸法及び地盤物性等を解析パラメータとして、感度解析により飛石現象の支配要因の分析を行った。その結果、表層地盤による増幅（2～3倍程度）及び、飛上りに伴う非線形振動（衝突現象）による速度振幅の増幅が飛石現象に支配的であることがわかった。

次に、個別要素法により石と地盤をモデル化し、入力地震動、埋め込み形状等をパラメータとして石の飛上り状況を数値解析によって検討した。第1図に解析モデルを示す。数値解析の結果を総合し、「石の飛上り



第1図 解析モデル



第2図 石の飛上り条件式

条件式」(第2図)を提案し、飛上りに必要な地震動強さ(地動の最大速度振幅の水平及び上下成分の合成)と、移動距離の関係を定量的に評価した(第3図)。ここでは、実際はある入射角をもった地動 V_{xy} が鉛直方向に作用した場合を仮定し、地盤との反発作用(反発係数 e)により初速度 $(1+3e)V_{xy}$ を受けた石が飛上る最大到達高さ ΔH を基準とし、水平移動距離 ΔH をその β 倍として評価している。数値解析では β は変動が小さく $0.5\sim 2$ の範囲であった。

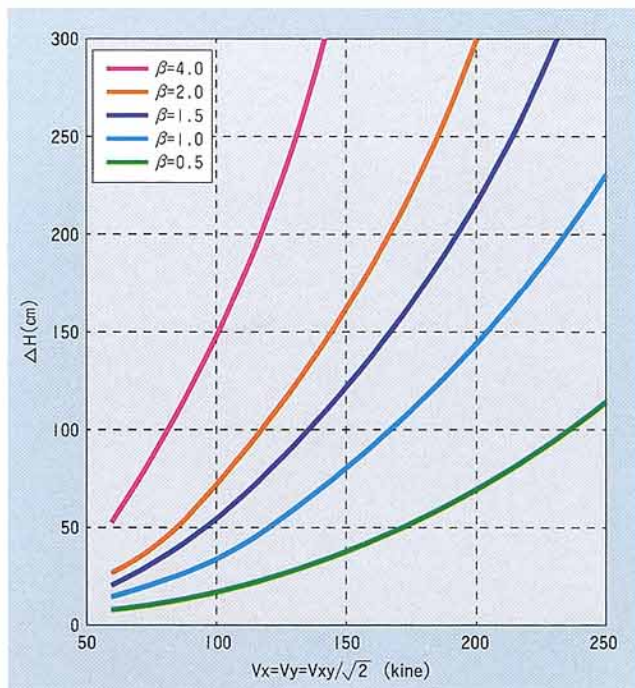
(3)振動台による実験的検討

シリコン地盤及び石の模型試験体を用いて振動台による加振実験を行い、飛上り現象の確認及び数値解析より導かれた「石の飛上り条件式」の妥当性の検討を行った。第4図に試験装置の概要を示す。石の飛上り条件式と実験結果による水平移動距離は良く対応することが確認できた(第5図)。

さらに、入力波(正弦波・パルス波・実地震波)の違いを比較検討し、単発的な振動に比べ、正弦波のような繰り返し振動の方が飛上り現象が起こりやすかった。

3 研究の成果

数値解析的検討及び振動台実験により、石の飛上り現象は、震央近傍において、周辺の局所的な地盤条件(表層地盤の物性など)、石の埋め込み状況、地震動の繰り返し効果などに大きく影響を受け、これらの条件により地動が増幅されて生じる現象であることが解明



第3図 最大速度振幅と最大水平移動距離 ($e=0.3$)

された。

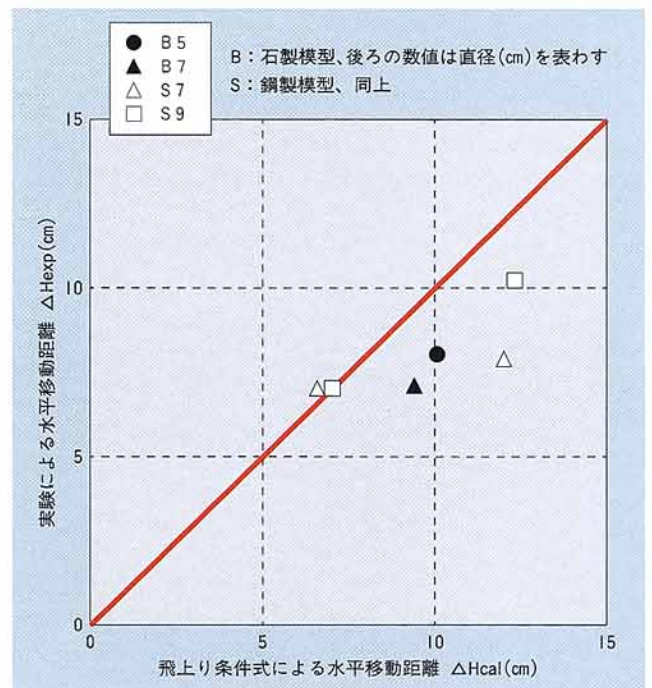
また、「石の飛上り条件式」を提案し、石の飛上りは石が埋め込まれている部分の地動の最大速度振幅(水平及び上下成分の合成)が 100kine 程度で起り得る現象(移動距離としては数 10cm 程度)であり、この地動には表層地盤の増幅効果が大きく関係しているという結果を得た。また、この結果は、既往の強震観測記録とほぼ整合するものであった。

4 今後の展望

本研究で得られた震央近傍の地震動強さに関する成果を、これまでに得られている知見と総合化するとともに、水平動及び上下動の関係についてさらに詳細に検討することによって、震央域の地震動特性に関して、より一層の正確な評価を行っていく必要がある。



第4図 試験体の設置状況



第5図 飛上り条件式と実験結果との対応関係