

地表地震断層近傍の強震動—Fling Stepとは何か？—

Strong Ground Motion near Surface Faulting -What is the Fling Step?-

*久田 嘉章¹

*Yoshiaki Hisada¹

1. 工学院大学建築学部

1. Kogakuin University, School of Architecture

Fling Stepは地表地震断層のごく近傍に現れる永久変位を伴うステップ関数状の強震動である（例えば、Stewartほか, PEER Report 2001）。その速度波形は片振幅の長周期のパルス波となり、Fling PulseやLong-Period Pulseと呼ばれる。Fling Stepが顕著に観測されるのは地表地震断層のごく近傍であり、断層を横切るライフラインや建物・土木施設に甚大な影響がため、特に工学分野で注目されている。

ところでFling Stepは、Directivity Pulseに比べてあまり認知されていないようである（例えば、嶺嶺 JpGU2017）。この原因は地表地震断層ごく近傍の強震記録が少ないことや、従来の強震動予測レシピでは地震発生層以浅の地表地震断層は対象外であること、に加えて、その解釈に誤解があるためだと思われる。例えばDregerほか（BSSA 2011）は「Theoretically, the static offset is due to the intermediate-field term of the elastodynamic equations of motion (Aki and Richards, 2002), and as described, it is physically the sudden elastic rebound of the crust around the rupturing fault, which is called fling in the earthquake engineering community.」とし、一方、Koketsuほか（Nature/Scientific Report 2016）はFling Stepを近地項の寄与としている。ここでAki and Richardsとは一様全無限弾性体の点震源による変位解（1980版では(4.32)式）であり、動的Green関数を近地・中間・遠地項に分離して表示している。Fling Stepに関する上記の解釈は以下の点で誤りがある。

1. the static offset（静的変位解）は個別の中間項や近地項ではなく、双方が寄与する（Aki and Richardsの(4.34)式に提示）。

2. Fling Stepは断層面のすべり破壊により、その近傍の地盤が移動する現象であるため、点震源では表現できない。表現定理により強震動を計算する場合は面震源を評価する必要がある。この場合、観測点が断層面に近づいても点震源のように振幅は発散せず、すべり関数に収束する（Hisada and Bielak, BSSA 2003）。

一方、断層ごく近傍では動的Green関数は静的Green関数の寄与が支配的になるため、Hisada and Bielakは表現定理における静的Green関数の寄与をFling Stepとしている（すべり関数と静的Green関数の断層面上での合積）。この定義はどんな地盤にも成立し、かつ効率的な計算が可能にする。

図1の一様全無限弾性体の円形断層（半径 $R=1000\text{m}$ 、一様すべり $D=1\text{m}$ 、中心点からの鉛直距離 z の変位 U ）の結果を紹介する（久田、日本建築学会大会 2014）。図2は静的Green関数を用いて、点震源と面震源による無次元化距離（ z/R ）に対する無次元化振幅（ $U/D/2$ ）の比較である。断層面に近づくと（ $z/R < 1$ ）、点震源の振幅は過大になるが、面震源ではすべり量 D の半分（ $U/D/2=1$ ）に漸近する。一方、 $z/R=1$ より遠方では両者に差が無くなり、 z の2乗に反比例した減衰を示す。次に図3は継続時間1秒の三角形すべり速度を用い、静的Green関数と動的Green関数による速度・変位波形の比較である（動的Green関数は近地・中間・遠地に分解した波形も表示）。まず断層近傍（ $z/R=0.1$ ）では、断層すべりの半分である $U=0.5\text{m}$ の永久変位のFling Stepとなり、静的Green関数は動的Green関数の速度・変位波形の結果に一致する。また動的Green関数では近地項と中間項の寄与による。次に半径と等距離（ $z/R=1$ ）では、静的Green関数による速度波形の再現が悪くなり、また動的Green関数では遠地項の寄与が大きくなる。最後に遠方（ $z/R=10$ ）では静的Green関数の寄与はなくなり、動的Green関数では遠地項の寄与が支配的になる。以上よりFling Stepが顕著になるのは、すべりを生じる断層（分割した場合は小断層）のサイズ以内にある場合（ $z/R < 1$ ）であることが分かる。より現実的な震源・地盤モデルの計算例等は当日報告する。

謝辞：本研究は文部科学省科研費（JP16K06586）の助成を受けています。

キーワード：地表地震断層近傍の強震動、Fling Step、表現定理、近地・中間・遠地項の寄与
Keywords: Strong Ground Motion near Surface Faulting, Fling Step, Representation Theorem,
Contribution of Near-, Intermediate-, and Far-field terms

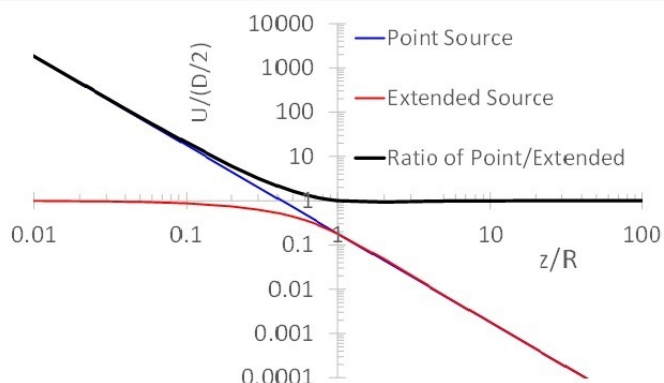


Fig 2. Normalized displacement amplitude using point/extended circular fault models and the static Green function

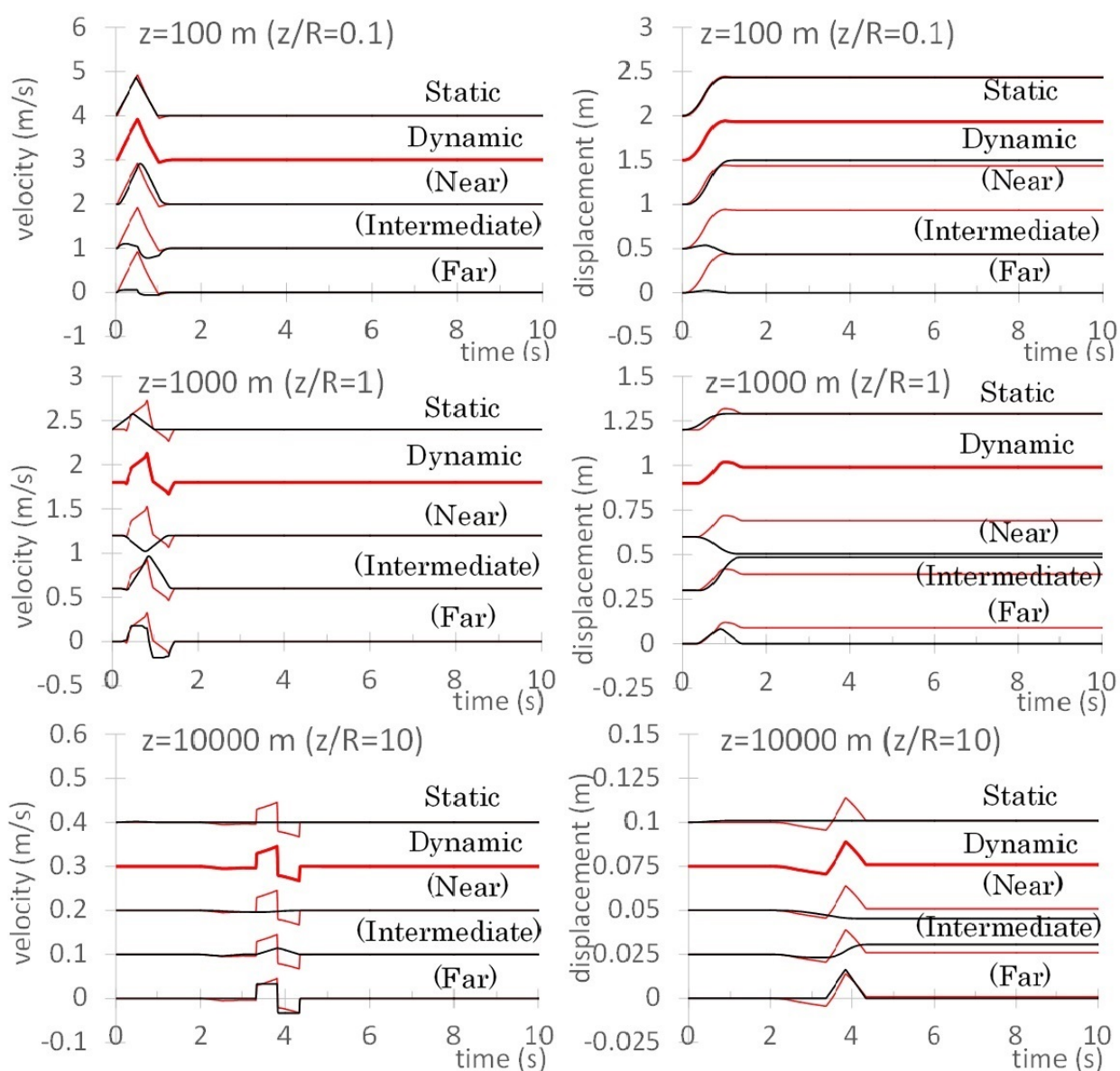


Fig 3. Velocities (left) and displacements (right) using the circular fault model and the static and dynamic Green functions. The contributions of the near-, intermediate-, and far-field terms are also shown.