

I - 692

Loma Prieta地震記録に基づく表層地盤の地震動増幅特性

熊谷組技術研究所 正会員 田中 港

熊谷組技術研究所 正会員 鈴木 猛康

1. はじめに

筆者らはLoma Prieta地震の強震記録を用いて、とくに卓越周期 $T < 0.6$ 秒の第III種地盤に相当する表層地盤の地震動増幅特性が、地盤によって大きくばらつくことを示した¹⁾。その際、USGSおよびCDMGによって行われている地盤分類に従って、Soil Siteを表層地盤、Rock Siteを工学的基盤と判断して検討を行った。しかし、Loma Prieta地震に関する日米共同研究²⁾により、33地点のSiteのボーリング調査およびPS検層が行われ、これまで工学的基盤（ $V_s = 600 \sim 700$ m/sec）と考えていたRock Siteの地表付近のいくつかは、 V_s が300 m/secにも達しない風化層で覆われていることがわかった。そこで、共同研究によって明らかにされた地盤データを用いて工学的基盤の地震動を求めて解析精度を向上させ、表層地盤の増幅特性について再度整理したので報告する。

2. 地震記録と最大加速度距離減衰特性

解析の対象とした地震波は、USGSおよびCDMGにより観測された強震観測記録であり、Soil Site 47地点、Rock Site 27地点の合計74地点の水平加速度成分である。水平2方向の加速度成分を用いて振動主軸方向成分を求め、各地点の水平地震動を代表させた。

Rock Siteに分類されているSiteで解析の対象とした27地点の中で、今回の調査により、地表付近の風化によって工学的基盤における地震動としてはさらに下層における地震動を与えるべきと判断されたのが4地点（a1～a4）、工学的基盤と見なせることが確認されたのが6地点（b1～b6）あった。前者については1次元重複反射理論に基づき、工学的基盤の地震動を解析する。さらにSoil Siteの中でも、地盤データが6地点で新たに明らかにされているので、これらの地点における工学的基盤の地震動を同様に解析することにした（c1～c6）。これらの地点を表-1にまとめた。これらのデータと、Rock Siteに分類されているが地盤調査結果がないものを区別して、工学的基盤の最大加速度距離減衰特性を図-1にプロットした。したがって、工学的基盤における地震動の距離減衰特性は、a1～a6に関する変更と、c1～c4の追加によって、文献1）よりも精度が向上している。そこで図-1ののデータに基づいて、工学的基盤における最大加速度の距離減衰式を求めた。ここでは、Joyner & Booreの距離減衰式の形を採用し、係数を最小自乗法によって求めることにより、次式を工学的基盤の最大加速度距離減衰式とした。

$$\log A = 0.65 - 0.88 \log r - 0.002r \quad \cdots \cdots (1)$$

$$r = (d^2 + 7.3)^{1/2} \quad \text{for } 5.0 \leq M \leq 7.7$$

表-1 地盤データが明らかになった観測地点

No.	Site	震央距離(km)	断層最短距離(km)	Amax (Surface)	Amax (Bedrock)
a1	PIEDMONT - PIEDMONT JR. HIGH GROUNDS	92.728	76.151	96.750	81.142
a2	SAN FRANCISCO - DIAMOND HEIGHTS	92.026	73.280	105.670	81.202
a3	SAN FRANCISCO - TELEGRAPH HILL	96.878	78.546	89.920	89.190
a4	YERBA BUENA ISLAND	95.803	77.910	68.780	54.552
b1	LEXINGTON DAM	19.253	10.275	442.640	—
b2	LEXINGTON DAM	19.253	10.275	521.580	—
b3	LEXINGTON DAM	19.253	10.275	468.780	—
b4	POINT BONITA	103.823	84.892	73.610	—
b5	SAN FRANCISCO - PACIFIC HEIGHTS	96.788	78.269	68.250	—
b6	SO. SAN FRANCISCO - SIERRA PT.	83.829	65.049	105.780	—
c1	GILROY #2 - HWY 101/BOLSA RD. MOTEL	29.708	15.316	394.580	209.234
c2	HALLS VALLEY - GRANT PARK	36.671	35.283	108.710	68.254
c3	OAKLAND - OUTER HARBOR WHARF	94.674	77.221	319.150	112.732
c4	RICHMOND - CITY HALL PARKING LOT	107.818	90.600	141.940	50.238
c5	SAN FRANCISCO INT. AIRPORT	79.518	60.403	376.510	111.128
c6	TREASURE ISLAND	97.810	79.877	148.810	66.986

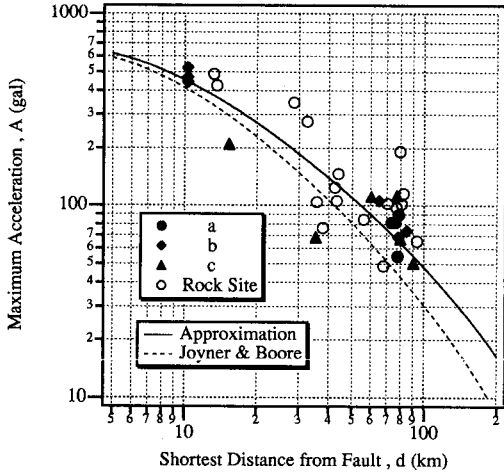


図-1 工学的基盤上の最大加速度の距離減衰特性

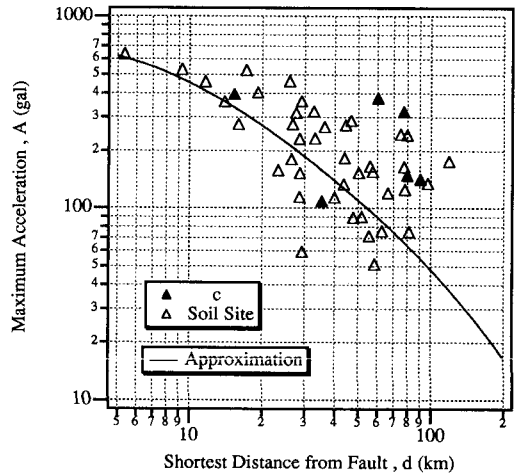


図-2 Soil Site の最大加速度の距離減衰特性

3.表層地盤の地震動増幅特性

Soil Siteの最大加速度の距離減衰特性を図-2に示す。これらのSoil Siteの最大加速度を、各Soil Siteの断層最短距離に対応する(1)式で示される工学的基盤における最大加速度で除すことにより、表層地盤における加速度増幅倍率を求めた。この際、Soil Siteの加速度波形において地盤の卓越振動成分で加速度最大値が現われていることを確認した。図-3はこのようにして求めた表層地盤の加速度増幅倍率を縦軸に、地盤の卓越振動数を横軸にしてプロットしたものである。図から明らかなように、増幅倍率のピークは1 Hz前後であるが、この領域の増幅倍率は0.3~4.8倍と広い範囲にばらついている。また1.5 Hzより卓越振動数の増加とともに、増幅倍率は漸減し、1前後の数値となっている。

図-4は加速度増幅倍率を各Soil Siteの最大加速度に対してプロットしたものである。図より、表層地盤で地震動がもっとも大きく増幅されたときの加速度は、200~400 galであることがわかる。またSoil Siteで600 galを超えるもっとも大きな加速度が観測された地点では、加速度増幅倍率はほぼ1である。このことは、地盤の非線形性と密に関連している。

4.まとめ

Californiaにおける強震観測点のボーリングおよびPS検層結果に基づいて、Loma Prieta地震における工学的基盤の最大加速度距離減衰式を再度設定し直し、表層地盤における地震動増幅特性についてまとめた。その結果、周波数1 Hz前後のいわゆる第III種地盤における地震動増幅特性は地盤により千差万別であり、経済的かつ安全な耐震設計を行うためには、地盤を正しく評価することが不可欠であることが示された。

5.参考文献

1) 鈴木, 田中: 工学的基盤上の加速度距離減衰と表層地盤における増幅特性に関する考察, 第22回地震工学研究発表会講演概要集, 1993, pp.311-314

2) BCS, CURRe: Investigations for Thirty-Three Loma Prieta Earthquake Recording Sites, UJLPE, 1993

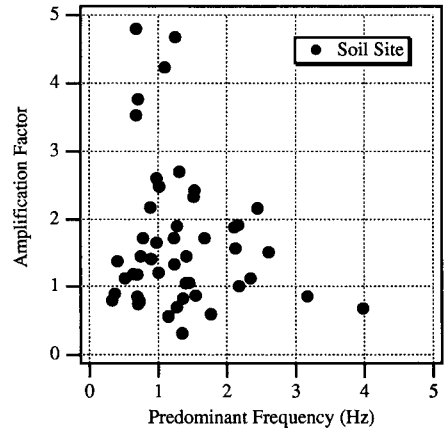


図-3 卓越振動数と増幅倍率

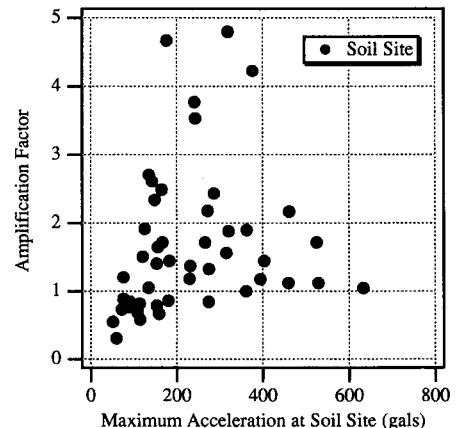


図-4 Soil Site の最大加速度と増幅倍率