

I-B 176 地震動の周波数特性が地盤の非線形挙動に及ぼす影響に関する一検討

佐藤工業 正会員 末富 岩雄
〃 〃 吉田 望

1. はじめに 兵庫県南部地震では、湾岸地域で地盤が顕著な非線形挙動（特に液状化）を示し、港湾施設や杭基礎等に大きな被害をもたらす一方、短周期成分の低下により住宅被害は少ないという現象が見られた¹⁾。ポートアイランドや関西電力（株）総合技術研究所で観測された記録を用いて行った初期解析²⁾では、1%を越えるせん断ひずみが地盤に生じている。一方、今回の地震の特徴として、震源特性により周期1~3秒の成分が大きく、最大加速度については釧路沖地震や三陸はるか沖地震と大差ないものの、最大速度・変位は極めて大きいことが挙げられる。したがって、基盤地震動の周波数特性と地盤の非線形挙動の関係を明らかにすることは、非常に重要と考えられるので、本研究では第1段階として観測記録を用いて簡単な数値シミュレーションを行った。

2. 等価線形解析によるパラメータスタディ ポートアイランドの本震記録（ケース1）、余震記録（1/17 5:50, M=4.9, ケース2）を用い、GL-32.4mでのNS成分の入力加速度の振幅をパラメトリックに変えて等価線形解析を実施した。合わせて、関西電力（株）総合技術研究所の記録（ケース3）についてもGL-24.9mでのEW成分を用いて解析を行った。地盤のモデル化は文献2)と同じである。

得られた入力最大加速度と地表最大加速度・最大速度の関係を図-1に示す。本震記録を入力した場合、関西電力技研の方がポートアイランドよりも増幅率が大きいという違いはあるものの、いずれも基盤最大加速度 A_B が 150cm/s^2 になると地盤の非線形特性の影響が現れ、地表最大加速度 A_C の増加が緩やかになり（増幅率が小さくなり）、さらに A_B が 400cm/s^2 になると A_C はむしろ小さくなり始めている。地表最大速度 V_C は A_B が 400cm/s^2 まではほぼ直線的に大きくなり、 450cm/s^2 になって緩やかな増加となっている。一方、ポートアイランドの余震記録を用いた場合、 A_B が 250cm/s^2 まで A_C は直線的に大きくなっており、 500cm/s^2 まで V_C は直線的に大きくなっている。これは、余震記録を用いた場合の A_C が 500cm/s^2 入力に対しても 42cm/s と、本震記録を用いた場合の1/2以下と小さいことから明らかなように周波数特性の違いによる。1秒付近のやや長周期成分が大きかったことも、今回の地震で地盤の顕著な非線形化が認められた大きな理由と考えられる。

図-1の結果は、地盤の非線形性に関する指標として、翠川³⁾も述べているように地盤のひずみレベルと関係の深い最大速度の方が最大加速度よりも適切であることを示唆している。図-2に入力最大速度をパラメータとして同様に解析を行った結果を示す。最大加速度をパラメータとした場合でも、ポートアイランドと関西電力技研の差は小さかったが、最大速度をパラメータとした場合、さらに両者の差は最大加速度、最大速度とも小さい。余震記録を用いた場合の地表最大加速度は顕著に地盤の非線形化の影響を受けている。3つのケースとも V_B が 15cm/s までは直線的で、 20cm/s から緩やかになっている。この値は、多くの強震記録についてまとめた翠川による値³⁾と一致する。工学的基盤で最大速度 $15\sim 20\text{cm/s}$ 程度を地盤の非線形化が影響し始める目安と考えてよいと思われる。余震記録の場合にはその影響は小さく、 70cm/s になると急激に低下し、 80cm/s 以上ではほぼ 500cm/s^2 程度であまり変化していない。地表最大速度については、いずれも概ね直線的に増加しているが、余震の場合、本震に比べ、やや緩やかな増加となっている。

3. せん断ひずみの鉛直分布 ポートアイランドの本震記録を用いた場合と余震記録を用いた場合の最大せん断ひずみの鉛直分布を図-3に示す。本震記録を用いた場合には、GL-25m付近のやや深いところで大きなひずみが生じ、入力レベルが大きくなるにつれて、この部分のひずみが大きくなっている。一方、余震記録を用いた場合には、GL-5m以浅のところで大きなひずみが生じ、 V_B が大きくなるとここで生じるひずみは頭打ちになって、本震記録の場合と同様にGL-25m付近でのひずみが大きくなっている。

そこで、GL-3.5mとGL-27mでの剛性と減衰の変化の様子を図-4に示す。図より、GL-27mでの剛性が 2000t/m^2 より小さくなったあたりで地表最大加速度はあまり増加しなくなっている。すなわち、入力地震動の周波数特性がせん断ひずみの分布にも影響し、それが地表での応答に大きく影響することがわかる。

4. おわりに 等価線形解析により入力地震動の特性と地盤の非線形化に関する検討を行った結果、以下のことがわかった。

- 1) 地盤の非線形特性に関する指標としては、入力地震動の最大加速度よりも最大速度の方が適切である。最大速度が15~20cm/s程度になると地盤の非線形化の影響が現れ始める。
- 2) 入力地震動の周波数特性により、せん断ひずみの鉛直分布も異なる。

本報告では、関西地震観測研究協議会を通じて公開されている神戸市開発局、関西電力株式会社による観測記録を使用させていただきました。記して関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 吉田望・末富岩雄・中村晋・規矩大義；兵庫県南部地震における地盤の非線形挙動，
阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集，pp.117~124，1996年1月
- 2) 吉田望・中村晋・末富岩雄；1995年兵庫県南部地震における地盤の非線形挙動とその予測，
第23回地盤震動シンポジウム，pp.39~52，1995年10月
- 3) 翠川三郎；強震時にみられる地盤特性の非線形性，地震，第2輯，第46巻，pp.207~216，1993年

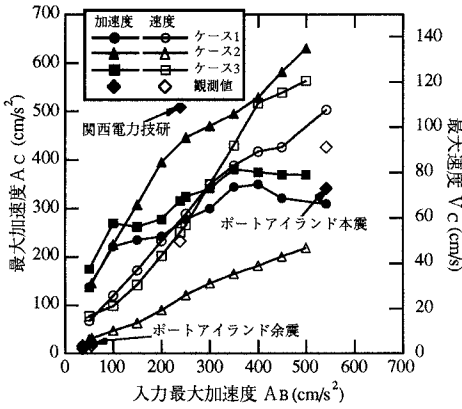


図-1 入力最大加速度と地表最大応答の関係

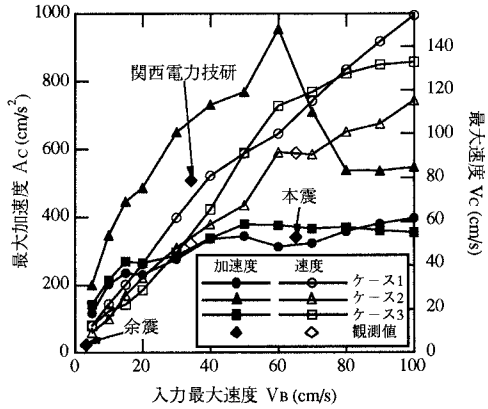
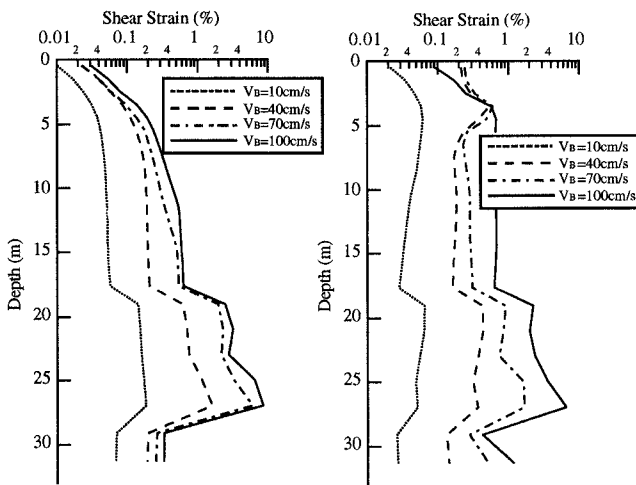
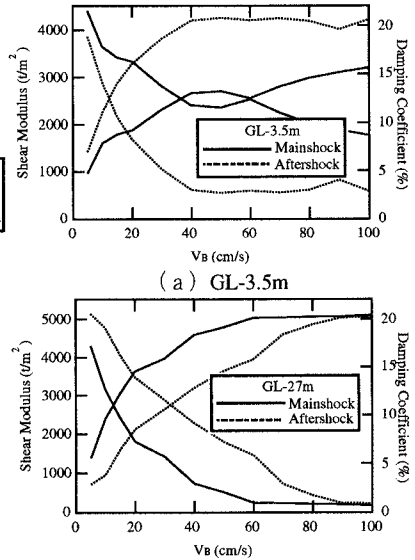


図-2 入力最大速度と地表最大応答の関係



(a) 本震記録 (b) 余震記録

図-3 入力最大速度と最大せん断ひずみの鉛直分布の関係



(a) GL-3.5m (b) GL-27m

図-4 入力最大速度とG, hの関係