

○ 三井建設 正員 大塚 啓史  
千葉工業大学 正員 吉田 秀典

1. はじめに

兵庫県南部地震の際には、神戸市域に震災の帯と称される被害の集中した震度7の帯状の領域が生じた。この帯状の領域の南側に軟らかい地盤が、そして北側に硬い地盤が広がっている。被害の局所化の例としては、山陽新幹線の六甲トンネル出口から武庫川までの新幹線高架橋の被害が挙げられる。この区間においては、ある箇所では激しい橋脚の損壊を被ったが、数十m離れた別の箇所では同じ形式の高架橋であるにも関わらず、ほとんど被害がないという現象が見られた。数十mという狭い範囲内で地震動が異なっていたとは考え難く、これは複雑な地盤構造に起因した表層地盤における増幅の差より生じたものとする。そこで本研究では、硬軟複合地盤における地盤の地震動有限要素解析を行い、それより表層地盤増幅のメカニズムを明らかにすることを目的とした。

2. 解析概要

本解析では、図1に示すような、横幅400m、高さ10mの矩形領域を考え、底部に変位波形を入力することで地震動の有限要素解析を行う。問題を明確にするために、入力変位波形は単純な余弦波形(図2参照、振幅1m、周期0.2sec、振動数5Hz、 $\sin 10\pi t$ )とする。境界条件としては底部の節点の鉛直方向の変位のみを拘束する。できるだけ簡易な条件を設定して硬軟複合地盤における地震動の挙動を把握するために、地盤の硬軟は弾性係数のみを変化させて地盤のモデル化を行った。地盤材料の特性としては、硬軟地盤ともに単位体積重量を $1.8 \text{ t/m}^3$ 、ポアソン比を0.2、減衰係数を0.05と仮定し、弾性係数に関しては、軟質地盤(図1の左半分)を $72,000 \text{ tf/m}^2$ 、硬質地盤(図1の右半分)を $720,000 \text{ tf/m}^2$ と設定した。有限要素の節点数を805、要素数は640をとし、動的解析にNewmark- $\beta$ 法を用いて2次元平面ひずみの条件下で解析を行なった。解析には軟質一様地盤と硬軟複合地盤のケースを想定し、硬軟複合地盤における軟らかい地盤上、境界上、硬い地盤の上の3点を設けて変位波形をピックアップし、それらの比較を行なう。

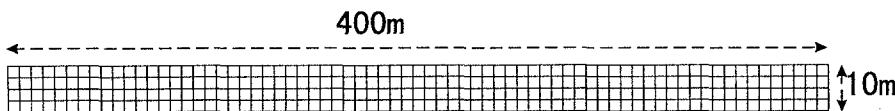


図1 有限要素メッシュ

3. 結果・考察

まず、軟質地盤の特性のみを有する一様な地盤の解析を行い、その表層において得られた変位波形を図3にプロットした。この場合、解析の全領域で地盤特性・構造が同じであるため、表層地盤の全ての箇所でも同じ変位波形が得られた。表層変位の最大値は1.465で入力した変位が1であることから、理論通りの増幅をしていることが確認できる。

次に、硬軟地盤の境界が90度(鉛直方向)の場合の複合地盤の解析を行い、その表層において得られた変位波形を図4から図6にプロットした。軟質部においては、一様地盤の解析で得られた変位波形とほぼ同じ周期の波形が確認された。

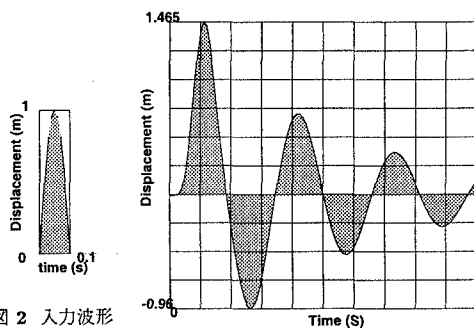


図2 入力波形

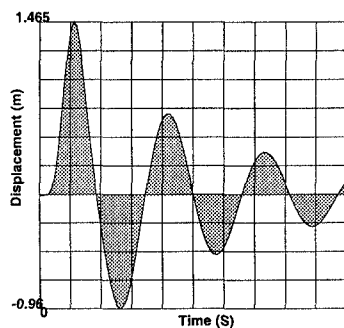


図3 変位波形(一様地盤)

キーワード：地震動、硬軟複合地盤、表層増幅

〒275 千葉県習志野市津田沼 2-17-1 TEL:0474-78-0440 FAX:0474-78-0474

しかしながら、境界および硬質部では周期も半分以下で、軟質部に比べると減衰も急激に起こっており、揺れがすぐに収まっていることが分かる。境界および硬質部における最大変位は一様地盤の解析とはほぼ同等であるのに対し、軟質部では一様地盤の解析よりもやや大きな変位が確認された。硬質部で短周期、軟質部で長周期が卓越しており、この点は現実の地震動の傾向と合致している。

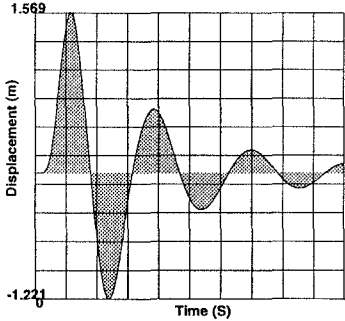


図4 変位波形(90度,軟質地盤)

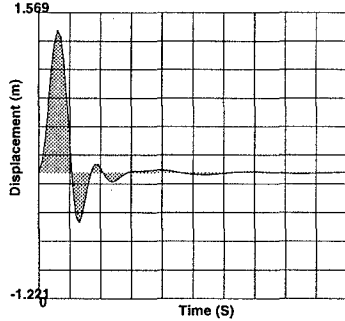


図5 変位波形(90度,境界)

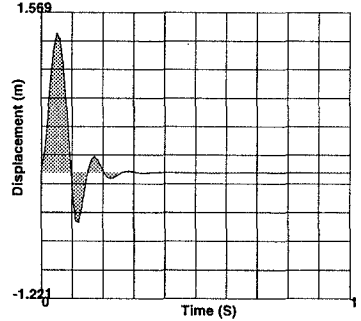


図6 変位波形(90度,硬質地盤)

さらに、地盤の不整形性の影響を調べるために、硬軟地盤の境界において硬質地盤が軟質地盤に45度の角度を持ってもぐり込む場合の複合地盤の解析を行い、その表層における変位波形を図7から図9にプロットした。この場合も境界が90度の場合とはほぼ同様の傾向を示していることが分かる。軟質部における変位の最大値は1.591で、この場合も一様地盤よりも大きな増幅が見られた。

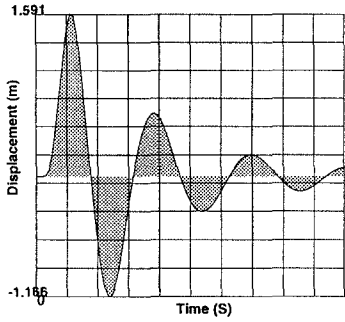


図7 変位波形(45度,軟質地盤)

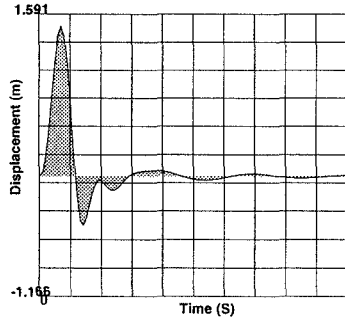


図8 変位波形(45度,境界)

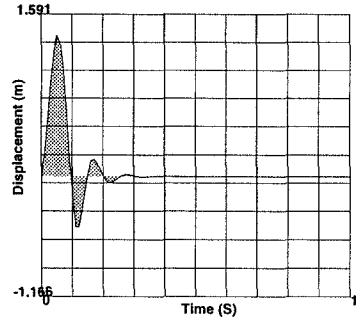


図9 変位波形(45度,硬質地盤)

以上より、硬軟複合地盤の場合、その軟質部ではそれと同等の地盤特性を有する一様地盤よりも表層部において波形が増幅することが判明した。巨視的には硬軟複合地盤は一様地盤よりも硬いことになるが、地盤表層でこうした増幅現象が見られた理由として、波の反射などの効果によるものと思われる。

一方、硬質部では初期こそ一様地盤のような増幅を見せるが、急激に減衰することが分かった。硬軟複合地盤では、運動・変形は軟質部が受け持つことになり、結果的に硬質部で変形が小さく、かつ運動(振動)が早期に収まったものと思われる。

また、地盤の不整形性が地盤表層における地盤振動・増幅にどのような影響をもたらすかを調べるために、硬軟複合地盤の境界が垂直の場合と、硬質地盤が軟質地盤に45度の角度を持ってもぐり込む場合の解析を行ったが、今回の解析では両者にほとんど差がなかった。これは解析手法や境界条件にも依存するので、今回の解析のみで不整形性の影響の全てを議論することは出来ないが、表層地盤における地震動増幅を考えるためには、地盤構造(不整形性)だけでなく地盤特性(複合性など)も適切に評価する必要があるものと思われる。さらに今後は、より現実的な問題を設定して解析を行い、解析と実現象の比較・検討を行う必要がある。