

(20) 地盤の不整形性による鉛直地震動の励起と構造物被害

大成建設(株)正会員 五十嵐 俊一・盛口 洋・久川 詠子
東洋大学 正会員 鈴木 崇伸・伯野 元彦

地震動を増幅させる特殊な地質構造があることが、地震被害の調査から知られている。1855年(安政2年)の安政江戸地震(M6.9)や、1923年の関東大震災では、市ヶ谷、四谷、赤坂、麻布などで周辺に比べ特に地震被害が大きかった¹⁾。1976年のフリウリ地震、1985年メキシコ地震でも、丘陵地の際に構造物被害の大きい地域が帯状に分布したことが確認されている²⁾。関東大震災の復興局は、約800本のボーリングによって東京の地下の地形を調査した結果、沖積層をはぎ取った地下に谷状の地形が広がり、これが特に被害の大きな地区と重なっていることを発見した。1929年に、この埋没谷の所在を図化し、地震動が特に強くなる地域としてパンフレットを作成し注意を呼びかけている。現在では、この沖積層が新たに発見された埋没谷によって、さらに2つ以上の地層に分けられ、地盤の工学的性質にはっきりした違いが認められている³⁾。篠崎(1995)は、1995年兵庫県南部地震の神戸市の建物被害状況と東灘区の地質構造に注目し、洪積層の傾斜面上で特に被害の大きな地域が現れたと指摘し、沖積地盤内部で地震動が増幅されたためであると述べている。

図1には、神戸の地盤³⁾に集録された約1500本のボーリングデータから、神戸市のN値50以上の工学的基盤の地表面からの深さを等高線で描いている。ただし、これは、過去のボーリングデータを単純に集計した暫定的なものであり、今後の詳細な調査によって見直す必要がある。これに、1995年兵庫県南部地震の神戸市の構造物被害⁴⁾を重ねたものが図2である。震度7は、木造家屋の被害率30%以上の地域であり、超震度7とは、同50%以上である。これを見ると、東灘区、三宮、大開周辺では、基盤の傾斜面上や埋没谷状の地区で超震度7となっている。図3に枠で囲んで示した地下鉄大開駅を中心とする2km四方の地区について基盤の深さの等高線と被害分布の関係を拡大して図4に示した。この地区は、西に向けて開けた谷状の地下の地形をしており、被害の特に大きな地区はこの谷筋に沿って延びている。この地区の地下鉄大開駅は、地震動によって押し潰され、道路が陥没した。

地震動を増幅させる特殊な地質構造は、地盤の不整形性と呼ばれて研究されている。江尻ら(1994)は、この効果を数値計算によって計測し、水平方向のみではあるが、設計地震動の割増し率を求めた。工学的基盤の上の軟弱層が水平に堆積している場合は、鉛直に基盤から地震動が入射すると軟弱層内で鉛直方向に繰返し反射して増幅される。基盤が傾斜したり、谷や、盆地状になっていると基盤から軟弱層に入射した地震波が地表面と基盤面の間で繰返し反射し、横方向に伝わる波が生ずる。これが、鉛直方向に伝わる波と重なりあって増幅する。この波は、水平方向だけでなく鉛直方向に揺れる成分を持つものである。実際は、3次元的な増幅が生ずるので前後左右上下に激しく揺れる事になる。基盤の揺れが水平方向であっても表層では、上下左右に揺れる地震動が生ずる。

西宮市に在住の綿貫氏は、地震発生時に上甲東園付近を散歩しており、地震発生直後に木を薙ぎ倒すような音とともに山側から地面が盛り上がる波動が伝わって来るのを目撃した。その波動が足元を通過する時に跳ねとばされたと証言している。この付近から新幹線の六甲隧道出口付近にかけては、沖積層が次第に厚くなっている地域であり、特殊な地質構造によって横方向に伝わる波動が発生したものと考えられる。波が次第に近づいてくるのが見えたことから、波高は30cm前後、波長は数メートルから数十メートルであると推定される。この付近も震度7の地域である。新幹線高架橋の被害も特に大きかった。

図1に示した神戸市の工学的基盤の傾斜は、約5度前後の傾きをもつ。これを、2次元的にモデル化して地盤の振動をFEM解析によって計算した結果を図5に示す。表層と工学的基盤のせん断波のインピーダンス比は、1対

3としている。表層の厚さは、最大で20mに設定した。振幅50カイン、周期0.2秒の正弦波状の速度を水平方向に入力している⁸⁾。これを見ると、基盤の傾斜部で水平動が増幅されるだけでなく、鉛直方向にも大きな振動が発生している。基盤と地表面の間での重複反射によって表層地盤内を斜めに伝播するせん断波が生じ、これと基盤から鉛直方向に伝播する波動が重なって大きくなっている。入力地震動は、水平方向のみであるにもかかわらず、鉛直方向にも水平方向の50%程度の振幅の波動が生じている。この波動による鉛直振動は、せん断波の鉛直成分であり、水平成分と同様の大きさの周期をもつ。

1995年兵庫県南部地震で、地盤の不整形性によって表層を横方向に伝わる波動が発生し、これが人を跳ね飛ばし、構造物に激しい被害をもたらした可能性のあることが、地盤調査、被害調査、目撃者の証言、及び、数値実験で明らかになった。構造物の設計に当たり、基盤の不整形性を調査し、この影響を評価する必要がある。特に、鉛直方向の振動成分が、水平成層地盤の縦揺れとは異なり、水平成分と同様の破壊力を持つことは注目すべき点である。

参考文献

- 1) 石橋 克彦：大地動乱の時代、岩波新書、pp.43、1994。
- 2) 伯野 元彦：被害から学ぶ地震工学、鹿島出版会、1992。
- 3) 柴崎 達雄他：日本の平野、日本の自然シリーズ第6巻、平凡社、pp.12-20、1987。
- 4) 篠崎 祐三：神戸市の地盤と地震災害、日本建築学会兵庫県南部地震緊急報告会、1995。
- 5) 神戸市企画局編：神戸の地盤、1980。
- 6) 中央開発(株)：震度7と超震度7の分布、東京新聞、1995年1月31日朝刊。
- 7) 江尻 譲嗣、後藤 洋三：基盤不整形性の影響の設計震度スペクトルへの導入に関する基礎的検討、土木学会論文集#501/I-209、pp.173-182、1994.10。
- 8) 鈴木 崇伸、伯野 元彦、五十嵐 俊一：傾斜した軟弱層上の地震動増幅に関する数値実験、第23回地震工学研究発表会、1995。

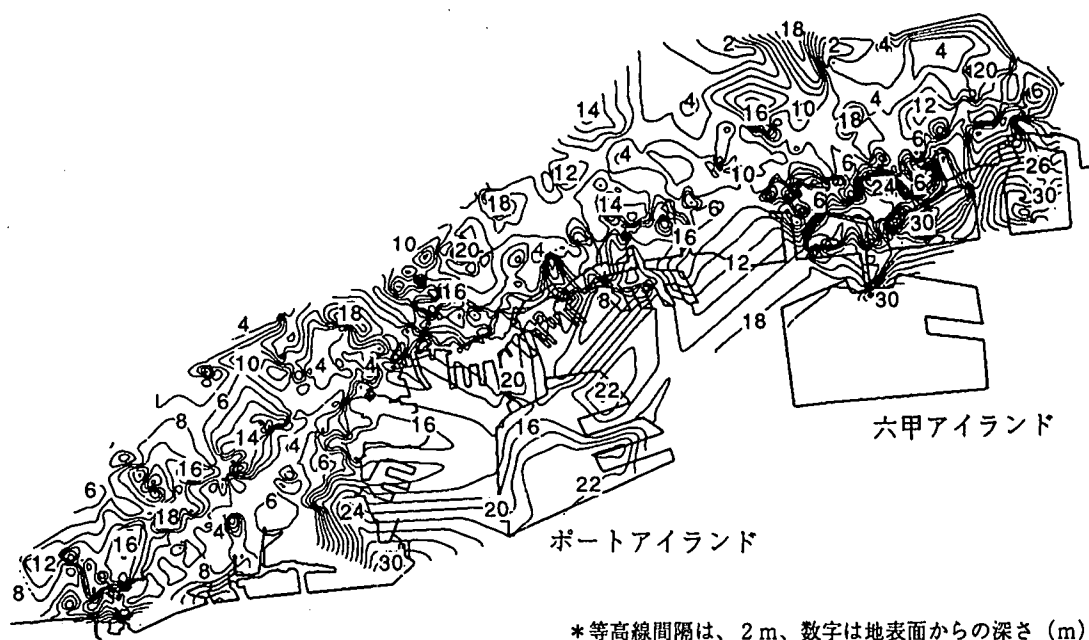


図1 神戸市の工学的基盤面の深さの等高線図（神戸の地盤より作成）

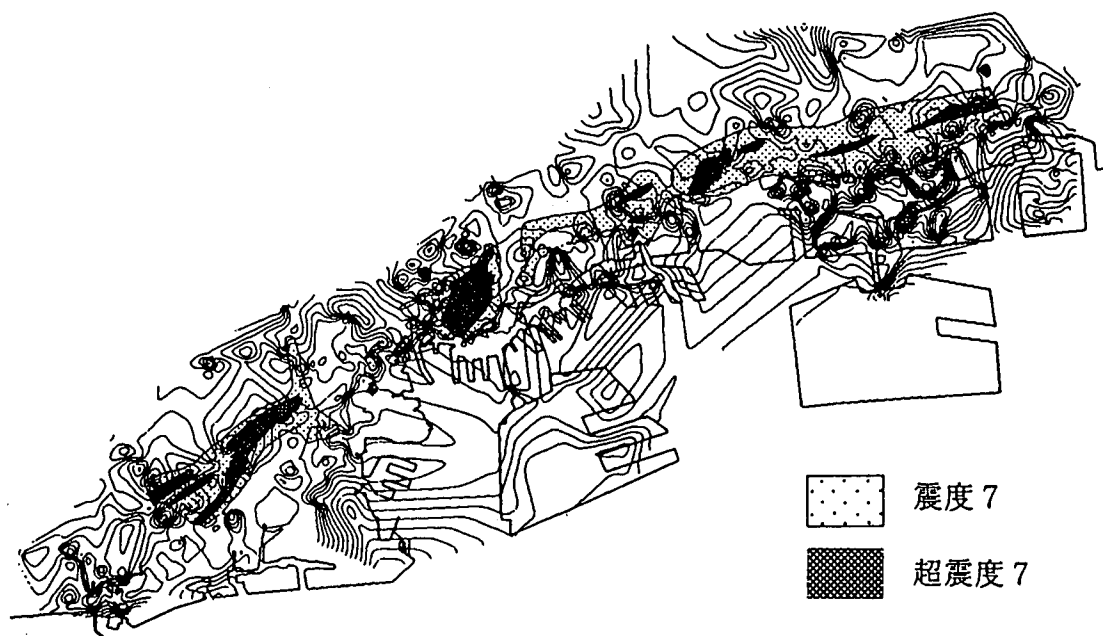


図 2 神戸市の地震被害の特に大きな地域と工学的基盤面の深さの関係

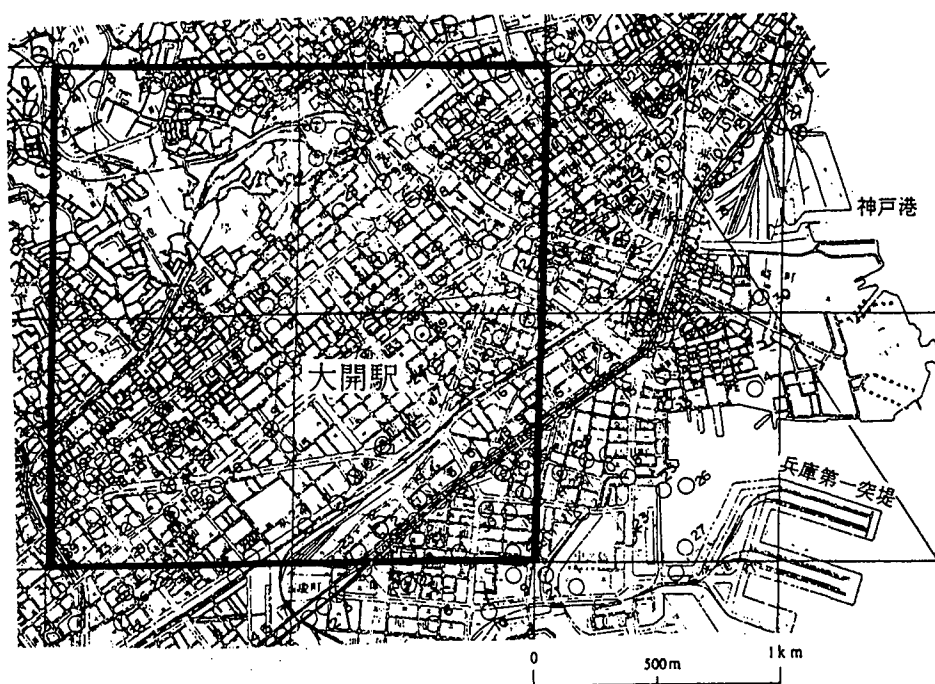


図 3 大開駅付近の調査対象範囲

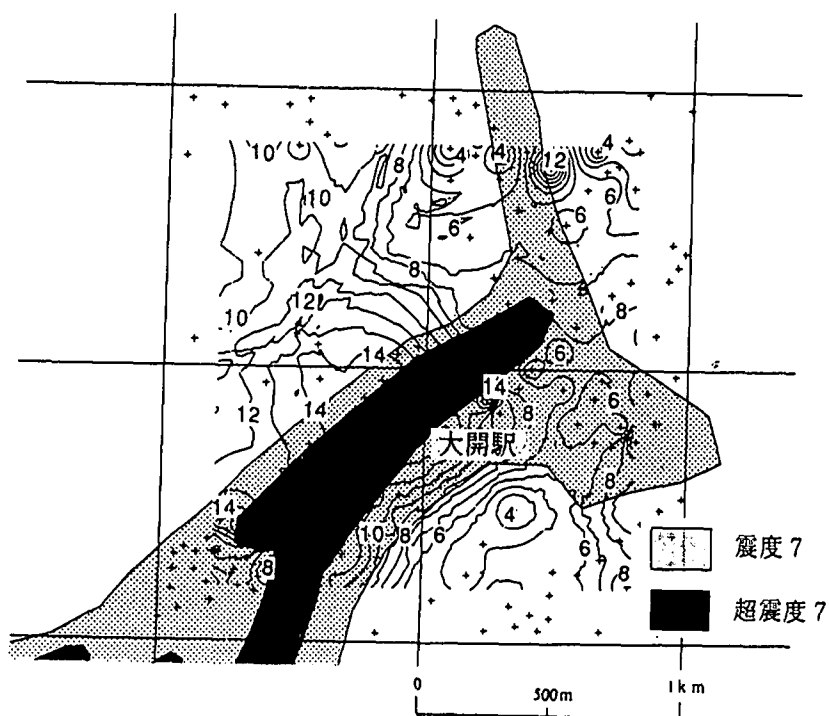


図 4 大開駅付近の地震被害の特に大きな地域と工学的基盤面の深さの関係

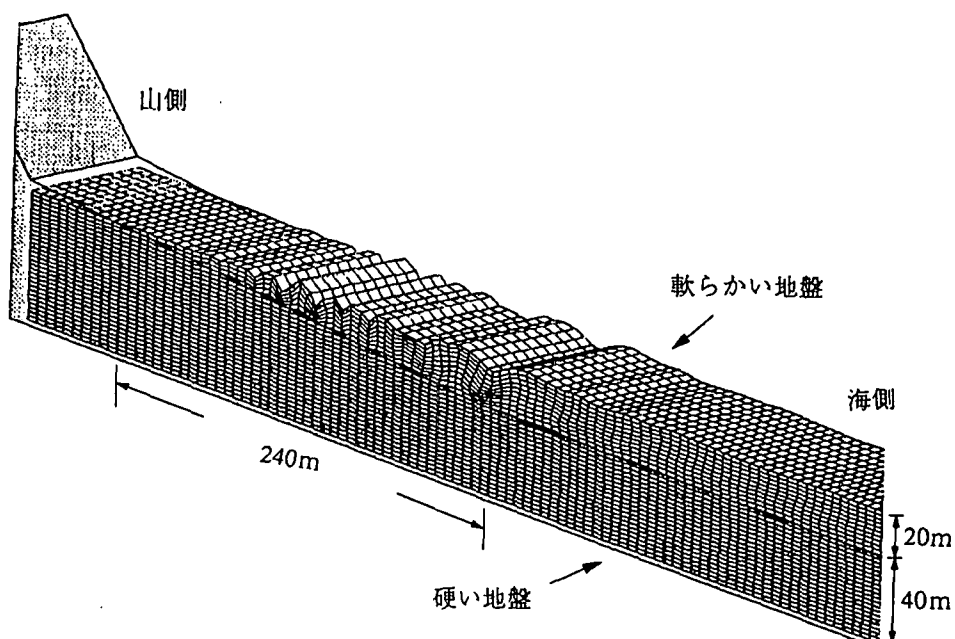


図 5 傾いた工学的基盤面上の地震動の重複反射による縦振動の励起