

地盤係数について

小 鯛 桂 一

破壊的な大地震の周期はおおよそ0.3~1.5sec.の範囲内にありますが 金井清氏は「地震動の卓越周期は工学的に問題になるMが6位よりも大きい地震については各土地で固有の値となり その値はその地盤の固有周期とほぼ等しい」と述べています。約6年前に発生した新潟地震ではこの地域の支持地盤がおもに砂層であったがためによる構築物などの意外に大きかった被害状況はまだ記憶に新しいものがあります。

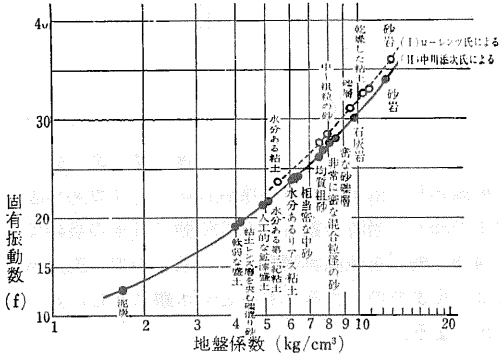
砂の振動試験例として文献① 乾燥砂の場合では 周期一定という限定条件下での運動性状は 加振とともに序々に沈下をはじめ 次第に激しい沈下となり 表層近辺は不安定状態を呈してきますが このような限界状態を越えてさらに継続して加振すると 砂層中に円弧状の滑り面を生じ この面を境とする上下両層は相対運動を行ない自由度の大きい表層部分は 流動状態となるという結果が得られています。また地震時の土の挙動を土質試験的にみた場合 厳密には振動中の試料に振動的な力を加えるのが理想的ですが このような複雑な試験例はまだないようですので 高速時の土質の圧縮強さの実験例をみてみますと 粘性土の場合 動的一軸・三軸試験機による高速圧縮強さは 静的圧縮強さよりも大きくしかも加圧が速くなるに従って圧縮強さは増大します。ただしこのような圧縮強さと 加圧時間の関係に対して含水比の大小が非常に大きな影響をおよぼし 静的圧縮強さに比べて 高速圧縮強さが増大する場合は含水比が大きいほど大きいという事実が認められています。なお砂に対しては 静的な場合に比べて 高速の場合にやや圧縮強度が増大する傾向がみられる程度ようです。また振動時の直接せん断強度についてみてみますと 関東ロームは高い含水比においては加速度とともにせん断強度は著しく減少し 粘土は振動の加速度が増すと 振動時の強度は静的強度に比べて減少するなどのことが明らかになっています。このように振動時における支持力とみられる動的支持力は 流動化現象や動荷重の伝達特性など 静的支持力とは性質を異にするために 静的支持力から動的支持力を求めることは困難であり 動的支持力には振動性状によって生ずる土質性状の変化が複雑にからみあうものとみられます。

比較的的微細な地質構造の振動性状を定常波法から解析するには 地盤の弾性をスプリングと 粘性減衰から

なるモデルに置き換えた限定条件のもとに解析する方法と 地盤を半無限弾性体として得る弾性理論解の2通りの方法があるようで 前者の方法についてさらに説明しますと 1 質点1 自由度のモデルを考えた場合 起振機(偏心した重錘の回転などによって連続的な振動を発生させる機械)によって $f_n = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{K}{M_v + M_s}}$ (ただし M_v は鋼体の質量 M_s はスプリングの質量で 減衰係数を無視した場合)の固有振動数を得るというものです。実際上はこれらの限定条件を種々検討し解決することがおもな研究課題です。ある限定条件における報告例として

- (I) 各土質の固有振動数
- (II) 各土質の地盤係数(動的k値)
- (III) 地耐力との相関々係

などがあり (III)ではわずかな地耐力の増加にともなって 固有振動数は大幅に変化することが指摘されています。ここでの地盤係数とは スプリングの単位面積当りの弾性係数のことで しばしばkで表わされ 地盤の弾性的性格を土中の内部要因を考えずに単なる地表面に表われる弾性的な性格としてとりあげており 静的載荷試験から得られる静的k値と対比されますが 静的k値は 載荷面の大きさや載荷速度に影響をうけ 粘土などではとくにこれが顕著であるという理由で 静的k値から動的k値を全般的に求めることは困難であるともいわれております。定常波の起振方向としては 上下・水平・ロッキングの6成分が考えられますが たとえば水平動的地盤係数を K_h とすると水平動的k値の k_h とは $k_h \cdot A = K_h$ という関係にあります(ただしAは底面積)。中川恭次氏とローレンツ氏は文献② ある限定条件下においてそれぞれ固有振動数と地盤との関係を付図中のように理論的に試算しています。地盤係数の関数として 加速度・試験体の底面積・地盤の土質性状・試験体の底面積の静圧力などが挙げられますが 同一地盤・同一試験体でも底面積増大(見かけの特性)や 加速度大(非線型特性)の時はk値は減少するなどの理由により 地耐力と動的k値の関係を求めようとする場合に測定条件の違いによって 動的k値は 変わってくるので 普遍性はつかみにくいようです。弾性理論にもせん断係数・ポアソン比・地盤の容積など地盤のファクターは入って



固有振動数と地盤係数との関係

きますが 地盤のファクターを一定に押えれば 底面積・底面圧などの固有振動数との関連は明らかにされますので この方面からの解決が急がれています。

多くの工場は臨海部の沖積低地に増設され発展している現状にあります。これは当然機械類の基礎設置地盤として軟弱な未固結土層上に選ばれる結果となります。機械を設置する場合に 地盤と機械自体の固有振動数が合致して共振を起こさないためにも 地盤の固有振動数を知る必要があります (一般には機械振動の影響を少なくするために 弾性支持をなした機械と その基礎からなる振動系の固有振動数を 常用運転速度の $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ 程度にするように設計されます)。機械基礎を考える場合は 一般に振動数自体は 地震動の場合と比べてかなり高いオーダーであり 動的支持力を考える場合と見方がちょうど反対にはなりますが理論は同じです。

他方 地下探査法として発展してきているところの衝撃振動による屈折波法からは おもに各地層の弾性波速度に関する研究が進められています。硬岩における屈折波の振動特性として 地上あるいは地中の一点で地盤に衝撃を与えると 地盤に震動を起こしすべての方向にこの震動は伝わりますが この周期は普通の地震の場合の何分の一あるいは何十分の一といった短いもので このような短周期に対しては 弾性波は歪力の関数として比例し 弾性体としてとりあつかうことができます。

この場合弾性理論から各係数間の関係として ラーメ常数の μ は鋼性率(n)と同じであり また多くの実験データから鋼性率(n)は およそ ヤング率(E)の $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{4}$ 位であることが解っています。しかし緻密でない未固結層では ヤング率や鋼性率が一定しないので 弾性理論をそのまま適用できなくなります。弾性波には縦波と横波があり 文献④などから縦波の速度は 含水状態に影響されて変動したり 体積弾性率や間隙水の圧縮率と関係するので 一様でないが 横波の速度は 弛い地盤から締っ

た地盤になるに従い 小から大に一律に増加し比例的であり 間隙水とは無関係で体積弾性率の大きさ 形などからきまる弾性によってきまるので 土質の組成と速度との関係は 縦波の場合よりも単純であり しかもN値に比例的であることは有利です。このように横波の速度からはより正確な軟弱地盤に対する地層解析が可能であり しかもN値と相關することは 土質地質的な観点からは 非常に都合がよく今後大いに研究を促進する必要があるものと思われますが 反面ではこれが逆に動的k値との関係付けが困難であるようにも推測されます。

弾性波の伝播速度と震害との関係は 粘性係数もある程度関連があり 密度を一定とした場合とくに μ が関係してきます。硬い岩層中では横波の速度は 縦波の速度の約0.6倍で横波の速度の方が遅いのですが 軟弱な未固結層の場合には 岩石中を伝わる場合と異なり横波速度の方が縦波速度よりさらに著しく小さくなるために μ は λ に比べて著しく小さくなります。未固結層中の縦波速度は 同じ土質組成の場合含水率が高い地層ほど水の縦波速度値に近づいてゆき総合的にみて 0.1~1.4 km/sec.の範囲内におさまるようです。

ずっと以前に佐々憲三氏は文献⑤ 弾性波地下探査法によって震害を左右する地盤係数を求める研究実験を行っており その結果決定的な結論を得るまでには至らなかったようですが 地盤の良否を判定する上で 地盤の固有振動周期を測定することよりも 二次的に伝播する地盤の表面波の速度または波による歪を測定することの方が重要であると述べておられ 普通表面波振幅の距離による減衰度が大きいところほど震害度も大きいようです。各地盤の固有の振幅減衰率は (縦波速度)/(表面波速度)と著しい関連があること そして表面波速度は 横波速度に近い値をもつことなどが判っていますが 一般に震害度は 地盤の弾性的性質だけに依存するものではなくて 土質性状や地震の性質とも関連してくるので 含水率などの土質性状を加味して震害との相互関係をさらに検討していく必要があるように思われます。

(筆者は 応用地質部)

文 献

- ① 石井外2名：振動中における乾燥砂の運動性状に関する研究(第1報) 運研報告 vol. 18, no. 10
- ② 大崎順彦：動的・軸・三軸および直接せん断試験 土の動的性質とその応用・第3章 土質工学会
- ③ 山本鎮男：動的k値 第5章 //
- ④ 鈴木武夫：軟弱地盤の調査法 地質工学会 第4輯
- ⑤ 佐々憲三外2名：震害と地盤 京都大学防災研究所年報 no. 2 京都大学防災研究所

その他