

III-38

L O V E波を対象とした液状化判定方法

東北大学工学部 正 柳沢 栄司
同 学 谷口 正明
佐藤工業技術研究所 正 中村 晋

1. はじめに 地表面で観測される地震動の波動成分の中に表面波が存在することは、よく知られた事実であるが、表面波が砂地盤の液状化に及ぼす影響については、まだ良く知られていない点が多い。本研究は、表面波のうち特にL O V E波に着目して、L O V E波伝播時の地盤内応力の分布を求めることにより、砂地盤の液状化を予測する方法について考察したので、その結果について報告する。

2. 表面波伝播の地盤内応力の算定

解析に用いた地震波は、表-1に示す三つの地震で合計11個の強震記録である。それぞれの観測点においてNS, EWの二つの水平動成分を震央方向と震央直角方向に分解し、震央直角方向について解析を行った。地盤構造は、それぞれ対象とした観測地点のボーリング柱状図より求めることとし、もしPS検層のデータが無かったり、不十分である場合には、次のようにして基盤の深さを決定した。即ち、対象としている地震の加速度波形のフーリエスペクトル（図-1）を描き、そのピークを示す周期に群速度（図-2下側の曲線）の極小値となる周期が合うように、基盤の深さを設定する。このようにして求めた地盤構造を用いて、L O V E波の増幅度曲線（図-3 Medium Response）を求め、それが卓越した部分（例えば 10^3 以上）の周期帯について加速度フーリエスペクトル成分を取り出し、それ以外の成分はカットする。このようにして得たスペクトルよりフーリエ逆変換を行って、変位波形を求め、これを入力L O V E波とした。また、同様にして得たL O V E波の加速度波形と元の加速度波形を比較することにより、強震記録に含まれる表面波成分の推定が可能となる。図-4は、このようにして得られた、11個の地震記録についての実際の加速度とL O V E波加速度の関係を示したものである。この場合、L O V E波加速度は、地盤の表面加速度から次式を用いて求めることができる。

$$\alpha_L = 0.68 \alpha_{max} \quad (1)$$

L O V E波の場合、二つの剪断応力成分を有するので、 τ_{13} と τ_{23} の自乗平均 τ_L

$$\tau_L = \sqrt{\tau_{13}^2 + \tau_{23}^2} \quad (2)$$

をもって地盤内応力の評価を行うこととした。

3. 簡易判定方法について

簡易判定方法では、地盤を剛体柱と考えてその底面に作用する剪断力に対して低減係数を

$$r_{dL} = \frac{\tau_{max}}{(\sigma_v' g) \alpha_L} \quad (3)$$

十勝沖地震	青森港 八戸港
宮城県沖地震	青森港 八戸港 塩釜港
日本海中部地震	室蘭港 函館港 青森港 八戸港 秋田港 酒田港

表-1 使用した強震記録

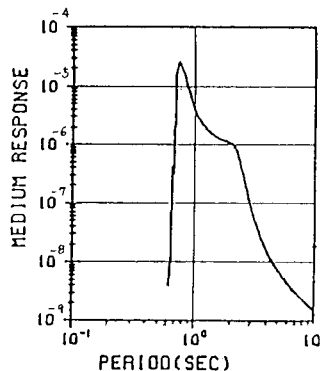


図-3 表面波の増幅度

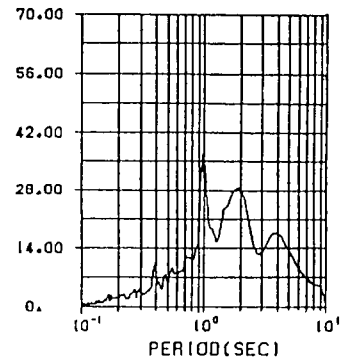


図-1 フーリエスペクトル

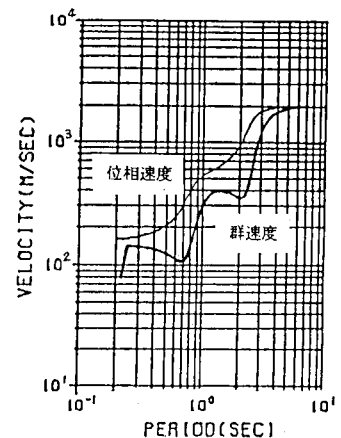


図-2 表面波の分散曲線

掛けて地震時の最大剪断応力を求めている。本研究においては、 τ_L をL O V E波による剪断応力 τ_{max} とし、地表面最大加速度（L O V E波最大加速度 α_L ）から地中の最大剪断応力を求める必要が有る。図一5は、各観測地点における表面波伝播時の各深さごとの最大剪断応力を表面波最大加速度から求めた剪断力で割って r_{dL} を求めた結果である。図中、黒丸で示した折れ線は、宮城県沖地震の際の青森港の地盤内応力を示したものである。表面波の場合、地表面においても剪断力が存在しているので、地表面での応力比が無限大になる。また、図中には、指数関数で近似した回帰曲線が示めされているが、地表面付近を除けば概ねこの関数形で地震時の応力を近似することができる。

$$r_{dL} = 2.467 \exp(-0.07z) \quad (4)$$

この式を用いれば、表面波伝播時に地盤中に発生する剪断応力比 τ_{dL}/σ_v は、下の式によって容易に計算される。

$$\left(\frac{\tau_d}{\sigma_v}\right)_L = 0.65 \frac{\alpha_L \sigma_v}{g \sigma_v} r_{dL} \quad (5)$$

従来からの方法に従って液状化抵抗 τ_{dL} が求められる場合には、液状化に対する安全率 F_{dL} は

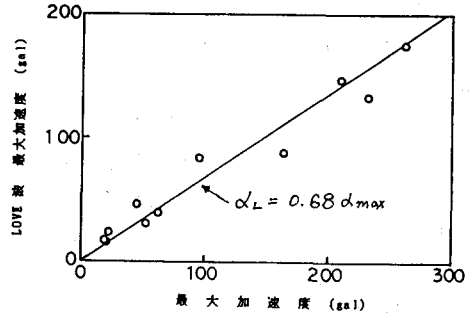
$$F_{dL} = \frac{\tau_{dL}}{\left(\frac{\tau_d}{\sigma_v}\right)_L} \quad (6)$$

から求めることが出来る。図一6は、八郎潟干拓堤防FD5地点における液状化の判定結果の例を示したものである。ここでは日本海中部地震に際して被害が発生している。三角印はSeedの方法により求めた値であり、また、丸印は本研究の方法によって求めた表面波による液状化の安全率である。図中の黒丸は、室内繰返し三軸圧縮試験結果から求めた安全率である。この図から明らかなように、表面波に基づく液状化の予測は、実体波のそれと比較して地表面付近でその差が大きい。また、二方向の剪断力を考慮に入れているために、全体的にやや小さな値をあたえるが、地中深い部分では実体波と同程度か、やや小さな値を与えることがしられる。

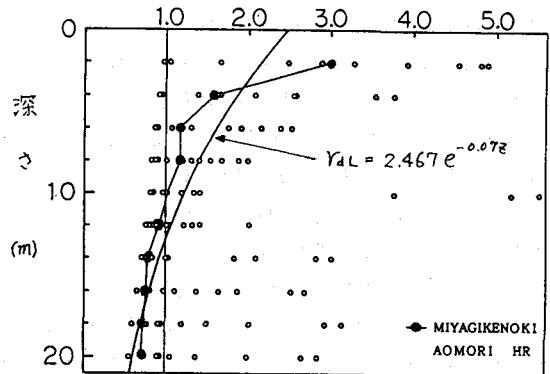
3. あとがき 強震記録に含まれる表面波の評価の方法および地盤内応力の評価については、まだ検討の余地はあるが、仮にL O V E波が発生したとして、それが砂地盤の液状化にどのような影響を及ぼすかについて簡単な検討を行ってみた。今後、更に実測などにより、実体波と表面波の関連等について検討を続けたい。なお、本研究の経費は、文部省科学研究費補助金、一般研究（B）によるものである。

参考文献

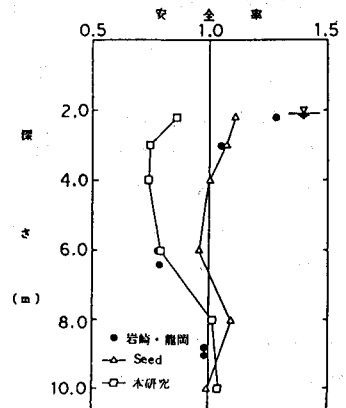
- 1) 神山 真；地震時における地盤内の応力 ひずみの評価
土木学会論文報告集 第250号
- 2) 岡田 直之他；八郎潟干拓堤防における液状化試験結果について 砂地盤の評価法シンポジウム論文集 '84



図一4 表面波の最大加速度



図一5 せん断力の低減係数の



図一6 F_d の計算結果