

表面波伝播時の地盤内応力分布について

東北大学工学部 学生員 〇谷口 正明
正会員 柳澤 栄司
学生員 大宮 宏之

1. はじめに 地震発生時におけるその被害状況は、地盤内の液状化現象の有無に大きく左右される。よって、液状化の発生危険度を判定することは非常に重要であり、Seedら多くの先人達によってその簡易判定法が考案されてきた。しかしながら、液状化災害の中には、必ずしも実体だけでなく説明できないような被害の事例もあり、表面波の影響を論ずる必要性が指摘されている。本研究は、表面波伝播により発生した地盤内応力に着目し、特にLove波についてその影響を考察し、簡易判定方法の提案を試みているものである。

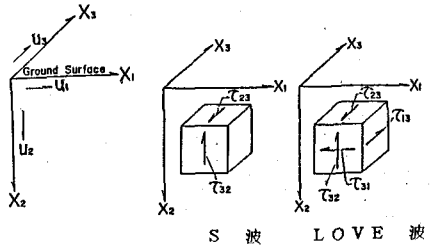


図-1 座標系

2. 表面波伝播時地盤内応力の算定

(1) 地盤構造推定 解析に用いる地盤構造は、対象とした地点の基盤(S波速度 2000 m/sを目安)に到るボーリングデータを使用することとし、もしPS波層のデータがなかったり、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。まず、地震の加速度波形のフーリエスペクトル(図-2)を描き、そのピークを示す周期にエネルギー極大値を示す群速度(図-3, 下側曲線)の極小値とみなす周期が合うように、基盤の深さを設定する。

例 宮城県沖地震 - 青森港

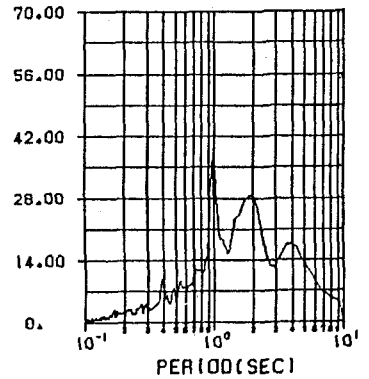


図-2 フーリエスペクトル

(2) 入力地震波 決定された地盤構造を使って、Love波増幅度(図-4)を描き、それが卓越した部分(Medium Response 10^{-8} 以上)の周期のみを取り出し、それ以外の周期のものはカットする。こうして処理した変位波形を入力Love波とする。

(3) セン断応力の計算を線形で行う

(4) 2方向のセン断応力(図-1参照)の評価 不変量である T_{31} と T_{32} の2乗平均 $T_L = \sqrt{T_{31}^2 + T_{32}^2}$ で1つのセン断応力として表わす。

3. Seedの簡易判定法への適用

Seedの簡易判定法で用いられる低減係数は、地盤中の剛体性を考え、その底面に働く繰返しセン断応力に対する、実際の地盤が変形する効果の補正係数がある。

$$\begin{aligned} \text{剛体地盤} \quad T_{max} &= \alpha_{max} \cdot p \cdot z \\ \text{実地盤} \quad T_{max}' &= \alpha_{max} \cdot p \cdot z \cdot f_d \end{aligned}$$

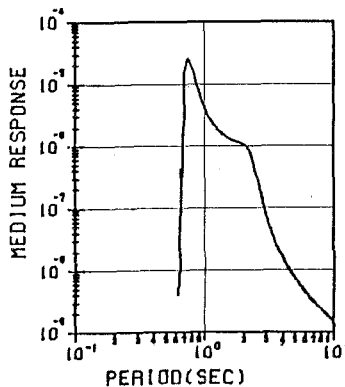


図-4 LOVE波 増幅度

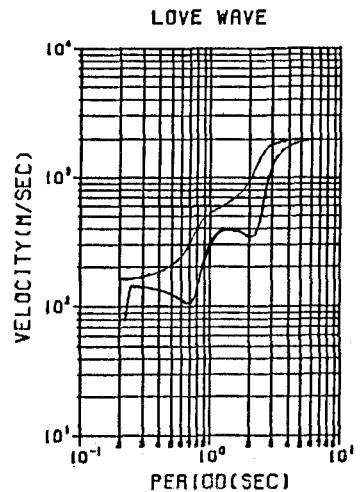


図-3 分散曲線

$$\therefore r_d = \frac{\tau'_{max}}{\alpha_{max} \rho z} = \frac{\tau'_{max}}{(\sigma_v/g) \alpha_{max}} \quad \alpha_{max} : \text{地表面最大加速度}$$

Seedはこの値を $r_d = 1 - z/90$ で近似させた

本研究においては、 τ'_{max} をLove波によるせん断応力 τ_L とし、地表面最大加速度を、Love波最大加速度 α_L として、表面波におけるせん断応力の補正係数を求める近似式を作成するのが1つの目的である。この場合 α_L は、 α_{max} の関数($\alpha_L = 0.68 \alpha_{max}$, 図-5)で表わすことで、従来のSeedの簡易判定法に適用させることが出来る。今回、入力波形として、十勝沖、宮城県沖、日本海中部の各地震を選び、のべ11地点について r_{dL} を計算してプロットしたのが図-6である。これより r_{dL} を

$$r_{dL} = 2.467 \exp\{-0.07z\}$$

と近似する(図-6の曲線参照;折れ線は宮城県沖地震の際の青森港におけるもの)。

この近似式を使えば、表面波伝播時における地盤中に発生する等価せん断応力 τ_d は、下の式により容易に計算され、又一方、

$$\frac{\tau_d}{\sigma'_v} = 0.65 \frac{\alpha \sigma'_v}{g \sigma'_v} r_{dL}$$

従来からの方法である、地盤の N 値、有効上載圧、地震のマグニチュードより液状化抵抗を計算すれば、液状化発生に対する安全率

$$F_s = \frac{\tau_c/\sigma'_v}{\tau_d/\sigma'_v}$$

を求めることが出来る。図-7は、従来のSeedの簡易判定法との比較である。場所は八郎潟干拓堤防FD(5地点、あり)、日本海中部地震の際に液状化の被害があった所である。黒丸は、室内繰返し三軸試験で得られた液状化抵抗を、岩崎・龍岡の方法に代入して安全率を算出したものである。このグラフからわかるように、新しく設定した近似式を使うとSeedのものよりかなり危険側に傾くが、

実験値を使った岩崎・龍岡の方法で求めた安全率と一致する部分が多いように思われる。また、安全率は10m付近で逆転している。これは今回設定した近似式が表面波から導いたものであるため、深いほど当然地盤内応力が小さくなり安全率を増加させる結果となるものである。よって、地表から10m付近までは表面波を考慮した安全率を、それ以下では従来の実体波の安全率を使うことが望ましい。

4. あとがき この研究では、表面波による液状化の危険度の判定法を提案したが、 r_{dL} を導く時、Love波のみの応力を考え実体波の応力を考慮していない。これは、一般に表面波は実体波より遅いのと同時に到着するとは考えにくく、また、地表面付近に着目しているため実体波の影響とは分離して考えたものである。

(1) 神山真一「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 252号
(2) 岡田直之「八郎潟干拓堤防における液状化試験結果について」室内試験法および試験結果の解釈と適用に関する研究論文

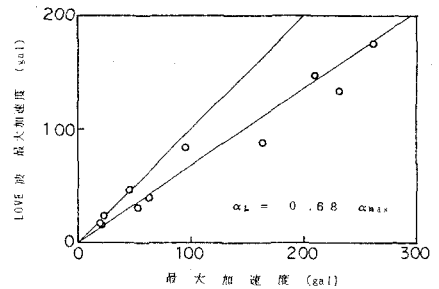


図-5 最大加速度

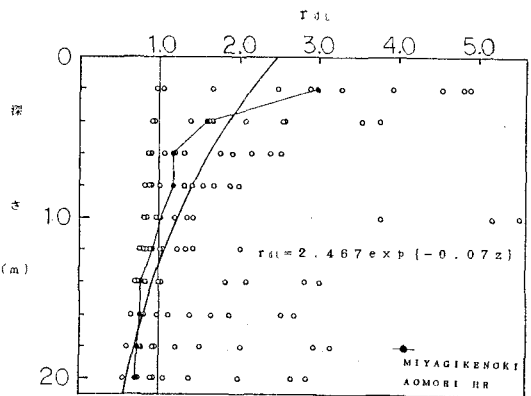


図-6 補正係数

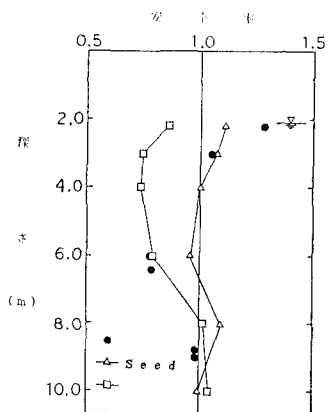


図-7 液状化危険度安全率