

水平成層地盤の地震応答に与える地盤の初期せん断応力の影響

正会員 ○ 吉田 望

1 はじめに

地盤は、水平成層でも、地震前には有効鉛直応力と水平応力が異なるため、初期せん断を受けた状態にある。前報¹⁾では、水平成層を扱う既存の一次元解析ではこの影響は考慮されていないことを示し、その影響はいくつもの地震を経験しても失われないことを示した。本報ではこの問題を異なる構成則の立場から再検討する。

2 地震応答解析に用いる構成則

はじめにでも述べたように、水平成層でも初期応力状態は等方応力状態ではなく、異方応力状態にある。この地盤が水平方向の外力を受け、せん断応力 τ_{xy} が発生する状況を模式的に図-1に示す。図で、(a)は視覚的にわかりやすいように τ_{xy} と σ'_x のみを示した応力空間である。図のAは初期応力に対応する点で、以後、B→C→D→と载荷を受けたとする。(b)は初期応力状態が等方、すなわちA点が原点にあるときで、通常の一次元解析に用いられる構成則による応力-ひずみ関係と同じ形状となる。処女载荷曲線、履歴曲線の両方が原点に関し点対称という特徴がある。

これに対し、(c)、(d)は異方応力状態を考慮した代表的な繰返し载荷法則による応力-ひずみ関係を表している。この場合には処女载荷曲線は立ち上がり剛性は弾性剛性より小さいが原点に関して対称と言うことは(b)と同じである。しかし、履歴曲線は最初の载荷方向に移動しており、対称ではない。

(c)と(d)の違いは、履歴法則である。(b)では除荷点であるBの硬化パラメータの値と、応力点が除荷点と同じ応力状態に再び至るD点での硬化パラメータの値が同じになるようにした構成則で、B→Dのまま载荷を継続するとD点で応力-ひずみ関係は(c)の実線から破線になめらか

に接続する。一方、(d)は除荷点からの距離に応じて硬化パラメータを決めるような構成則の例で、先と同じ条件の载荷に対してD点で応力-ひずみ関係の傾きは不連続になる。

では、地震応答解析に用いるのにどちらの構成則が妥当かという問題がある。山下ら²⁾、安田ら³⁾は、等方圧密状態でも異方圧密状態でも、ひずみ依存性の一般的な表現方法である $G-\gamma$ 、 $h-\gamma$ 関係は変わらないとの結果を得ており、図-1の(c)(d)二つの履歴曲線と等方圧密载荷による(b)とを比較して見れば、(d)が妥当であることを示している。なお、前報では(c)に相当する応力-ひずみ関係を用いており、適切ではなかったことになる。

3 繰返し地震による影響

図-1に示した応力-ひずみ関係から、過去の载荷の履歴が応力-ひずみ関係に大きな影響を持っていることが推定される。過去の応力履歴として過去の地震によるものが卓越していると考えられる。そこで、基準の地震動としてEl-Centro 1940 N-S成分の半分を深さ10mのモデル地盤に作用させるケースを設定し、1)基準地震動を受けた後その半分の地震動を作用させたケース、2)基準地震動を繰返し作用させたケースの二つのケーススタディを行った。いずれの場合も、等方応力状態に地震動を作用させたケース（通常の一次元解析）も比較のため行っている。なお、地盤の定数などは前報と同じなのでここでは省略する。

1) 過去に大きい地震動：図-2に最大応答値、図-3にもっとも非線形挙動の著しい最下層の応力-ひずみ関係を示す。最大応答値を見ると、等方応力状態（実線）と過去に大きい地震を受けたケース（点線）は図で区別できない程度に一致している一方、これらと、異方応力状態での最初の地震に対する結果（破線）とは大きな差があり、後者の方が変位が大きく、加速度とせん断応力は小さくなっている。このような差は図-3の応力-ひずみ関係を見るとより明瞭であり、(b)では初期せん断の影響を明瞭に見ることが出来る。なお、

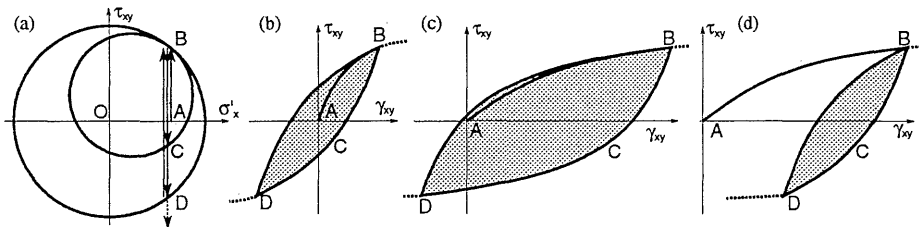


図-1 一定せん断応力振幅载荷を受けたときの挙動の模式図

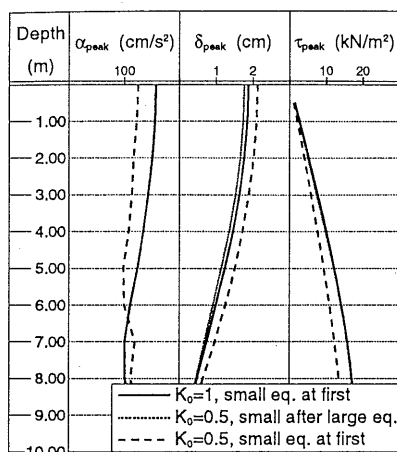


図-2 過去に大きい地震

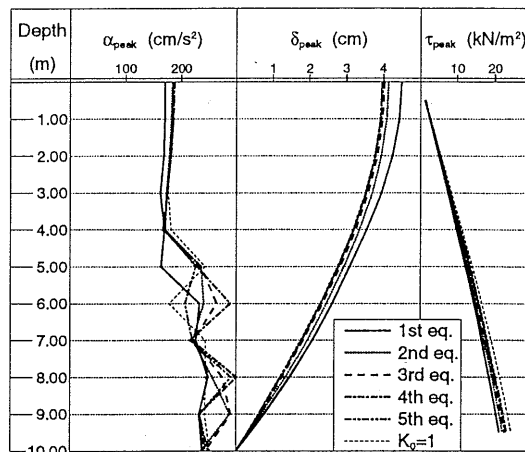


図-4 繰返し地震

最大応答値では、一回目の地震と等方応力状態との結果は非常に異なっている。しかし、2、3回と、繰返し数が多くなるにしたがい最大応答値は等方応力状態の結果に近づいていく。応力-ひずみ関係でも同様で、等方応力状態と1回目の地震では非常に大きな差が見られるが、その後次第に応力-ひ

ずみ関係は等方応力状態の結果に近づき、5回目の地震ではその形状はほとんど等方応力状態の結果と同じである。

応力-ひずみ関係を詳細に見ると、図-3(b)のB、Dに対応する点のせん断応力は、繰返し地震を受ける度に小さくなっていくこと、それと同時にB→CおよびD→Eに対応する部分でのひずみの変化量が小さくなっていることが分かる。また、O→Aに相当する部分は2回目以降の地震では全く見ることが出来ない。これらの現象は、処女載荷時の降伏曲面の広がりを考えたと理解することが出来る。すなわち、O→A、B→C、D→Eなどの経路は最外縁の降伏曲面を広げる過程であるが、当然この状態に至るのは、過去の応力履歴の最大応力を越えた場合のみである。一旦除荷が起これば、次にこの応力を越えるまでは等方応力状態からの

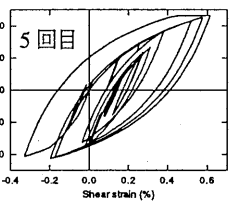
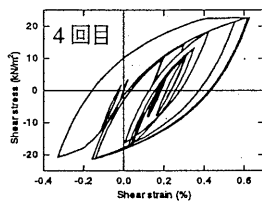
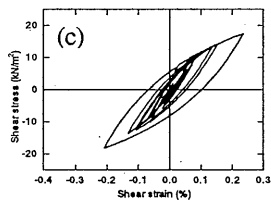
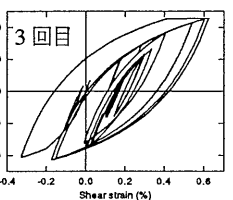
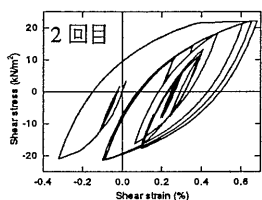
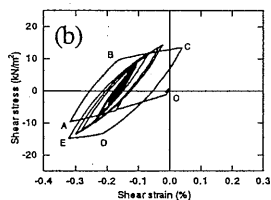
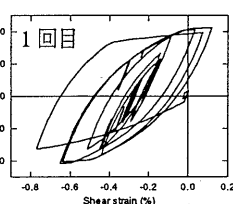
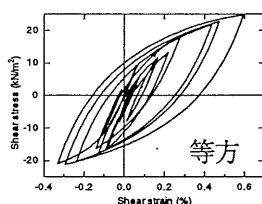
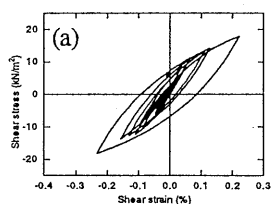


図-3 応力-ひずみ関係
(上から等方、異方、異方で過去に大きい地震)

図-5 繰返し地震 (上左から、等方、1、2、… 5回目の地震動に対する応力ひずみ関係)

(b)のA、Cは除荷点、B、Dは除荷後再び処女載荷状態に至ったところで、AとB、CとDのせん断応力の値は同じであることB、D点で応力-ひずみ関係の傾きが不連続であることが特徴である。(a)、(c)はほとんど同じ形状である。これらの結果から過去に大きい地震を受けた後、これよりかなり小さい地震を受ける場合には、初期異方応力状態の影響はほとんどないことが分かる。

2) 繰返し地震動：図4に最大応答値を、図5に応力-ひずみ関係を示す。計算は5回の地震に対して行っており、図5では各地震に対する応力-ひずみ関係はせん断ひずみが原点からスタートするようにひずみ軸を移動している(図-3(c)も同様)。

地震と同様の挙動をするので、結果も同様になる。

4 まとめ

通常の一次元解析では異方の初期応力状態を考えていない。しかし初期応力の影響は地震の繰返しにより小さくなるので、埋め立て地の様な新しい地盤では重要だが、古い地盤では考慮しないことによる誤差は小さい。

参考文献：1)吉田望(1995)：地震動の繰返しが地盤の地震応答に与える影響、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、pp.1079-1080 2)山下聡、土岐祥介(1994)：初期応力の相違が砂の繰返し変形特性に及ぼす影響、地盤および土構造物の動的問題における地盤材料の変形特性に関するシンポジウム、pp.163-168 3)安田進 他(1994)：不攪乱資料の動的変形特性を求める試験条件の検討、地盤および土構造物の動的問題における地盤材料の変形特性に関するシンポジウム、pp.169-174