

(187) 連続地中壁による周辺地盤の3次元的な変形抑制効果に関する解析的検討

清水建設(株)大崎研究室 林 康裕、高橋郁夫

1. はじめに

近年、地盤の液状化を抑制する方法として、連続地中壁が着目されている¹⁾。しかし、連続地中壁のような複雑な形状を有する基礎形式を採用した場合の、構造物-地盤連成系の3次元挙動については、十分に検討されているとはいえない。そこで、本研究では、連続地中壁によって支持された構造物を想定し、連続地中壁の配置方法をパラメータとした数値解析を行って、構造物とその内側に存在する地盤の3次元動的挙動を調べ、連続地中壁によるその内部の地盤の非線形性抑制効果について検討する。

2. 解析条件および解析手法

解析対象とする構造物は、図1に示すように、高さが30mで、一辺の長さが30mの正方形基礎を持ち、厚さ30mの軟弱な表層地盤上に建っている。上部構造物は連続地中壁によって下層地盤上に支持されている。連続地中壁の配置方法としては、図2に示すような口型や田型のような格子状の配置の他に、口型の1方向の地中壁だけを取りだした二型配置、口型配置に地中壁を追加した田+型配置と口++型配置の合計5パターンの配置方法を想定し、鉛直下方からS波が入射した時の応答性状の検討を行う。

上部構造物は質点とはり要素で、基礎版と連続地中壁および連続地中壁に囲まれた(または挟まれた)内側の地盤(以下、内部地盤とよぶ)はソリッド要素を用いて3次元でモデル化を行っている(図3参照)。上部構造物と地中壁の減衰は3%、総重量は12,000tonとする。また、基礎版は剛とし、基礎版は上部構造物とは剛接合されているものと仮定するが、内部地盤とは自由度を共有していない。図3,4に示す有限要素領域より外側(側方と下方)の地盤は、3次元境界要素法を用いてモデル化²⁾して遠方への波動逸散効果を厳密に考慮する。

3. 上部構造物と内部地盤の周波数応答特性

図5(a)に上部構造物頂部の周波数応答特性を、図5(b)に基礎版位置における周波数応答特性を示す。以下、伝達関数は支持地盤における露頭波に対する応答倍率の形で示す。上部構造物の応答は、いずれの連続

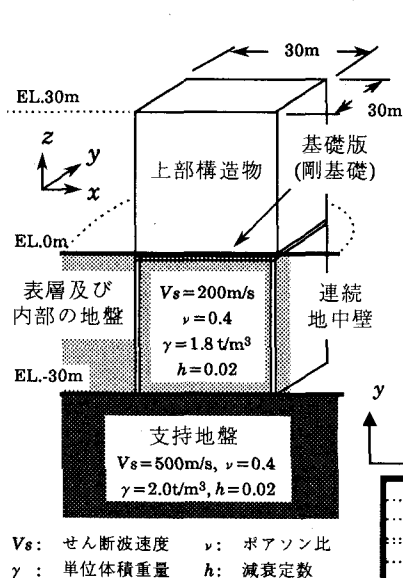


図1 解析対象

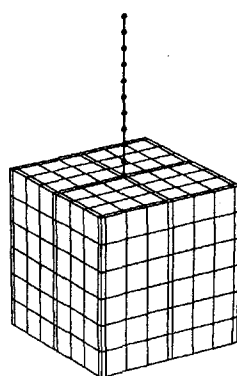


図3 解析モデルの概要

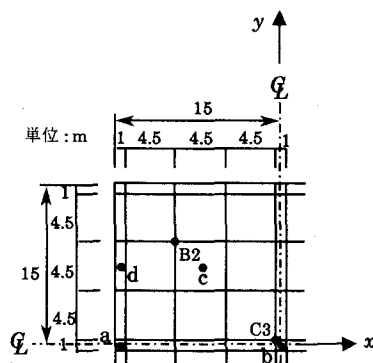


図4 有限要素領域の平面図

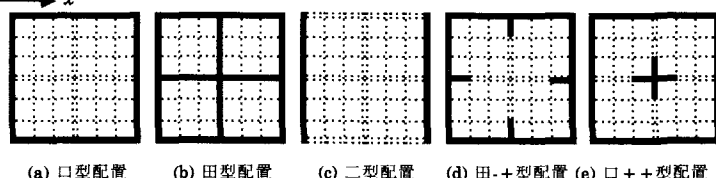


図2 連続地中壁の平面配置

地中壁配置の場合にも2~2.5Hzで卓越している。詳細に見ると、口型配置と田型配置ではほとんど応答特性に差が見られないが、二型配置の場合には、口型配置や田型配置に比べて1次の共振振動数が入力方向に関わらず若干低い。また、二型配置の x 方向入力時の基礎版位置における応答特性は、自由地盤の応答特性とはほぼ対応していることがわかる。つまり、連続地中壁がその面外方向に加振される二型配置の x 方向入力時には、概ね地盤の水平方向の振動そのまま上部構造物が揺すられていることがわかる。これに対して、口型配置、田型配置の場合および二型配置の y 方向入力時には、自由地盤の2次、3次の共振振動数に対応した振動の卓越が見られず、地盤の変形に連続地中壁が抵抗して上部構造物の水平変位が抑えられている。

図6に地表面位置での内部地盤の応答特性を示す。応答を比較する位置は図4に示す。口型配置の内部地盤は、自由地盤の2次の共振振動数(5.0Hz)より高い振動数で大きく振動し、連続地中壁による拘束は十分でない。また、口型配置に比べて格子サイズの小さい田型配置の内部地盤(B2)と基礎の振動特性を見ると、解析の対象とした振動数範囲において両者はほぼ同じ動きをしており、田型配置の連続地中壁が内部地盤の振動を十分拘束していると言える。一方、二型配置の y 方向時の応答特性を見ると、内部地盤(C3)は自由地盤と同じような動きを示している。また、二型配置の連続地中壁が面外方向(x 方向)に振動する場合には、内部地盤だけでなく基礎も自由地盤と同じような動きをしており、面内方向(y 方向)の場合よりもさらに内部地盤の拘束効果が小さい。つまり、連続地中壁を一方に配置するだけでは内部地盤の応答拘束効果は十分ではなく、特に連続地中壁が面外方向に振動する場合にはほとんど期待できないと言える。

4. 連続地中壁による内部地盤の非線形性抑制効果

八戸1968EW成分を支持地盤における露頭波として定義し、解析モデルに入力した応答解析の結果として得られた最大応答値を以下に示す。

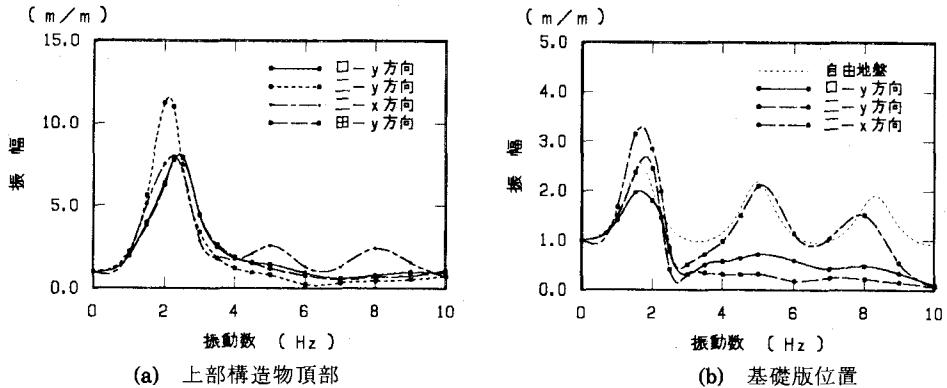


図5 上部構造物の応答特性 (水平方向)

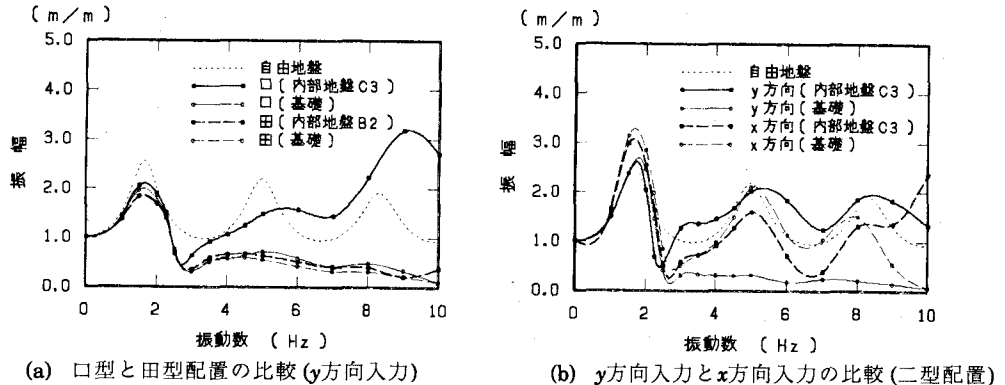


図6 内部地盤の応答特性 (水平方向)

図7, 8には、それぞれ口型配置および田型配置について、最大せん断歪の振動方向(y方向)の変化を振動方向に直交する座標xをパラメータとして表している。また、図9には内部地盤と連続地中壁の最大せん断歪を深さ方向の分布として示している。まず、面内変形を生ずる地中壁($x=14.5\text{m}$ 位置)は、上部構造物から伝達されてくるせん断力を連続地中壁が負担するために、地表面付近(EL.-2.5m)では内部地盤よりも大きなせん断歪が生じている。しかし、深くなるに従って内部地盤のせん断歪は急増し、地中壁に生ずるせん断歪よりも大きくなっていく。また、内部地盤の最大せん断歪の平面的な分布は、振動方向に沿ってほぼ一定となっている点に特徴があり、このことは振動方向に沿った地中壁が内部地盤の振動抑制に寄与している一つの現れであると解釈できる。一方、田型配置の場合には、連続地中壁による内部地盤の拘束効果が十分であるために、内部地盤のせん断歪は、同一平面内ではほぼ一定値となっており、しかも、その値は振動方向に面内変形を生ずる地中壁のせん断歪とほとんど一致している。このことは、田型配置のように内部地盤の拘束効果が十分な場合には、内部地盤と連続地中壁が同一の変形を生じているものと考えて一体としてモデル化することが可能であり、その時に内部地盤に生じているせん断歪の値は、連続地中壁のせん断歪の値と同じ

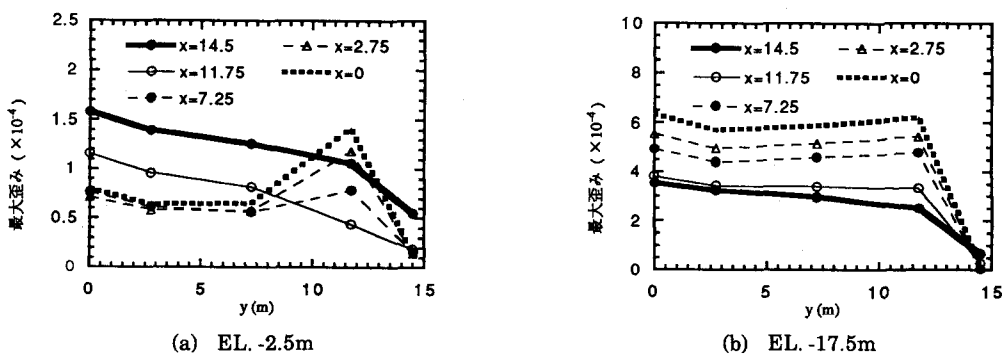


図7 口型配置の最大せん断歪の平面分布

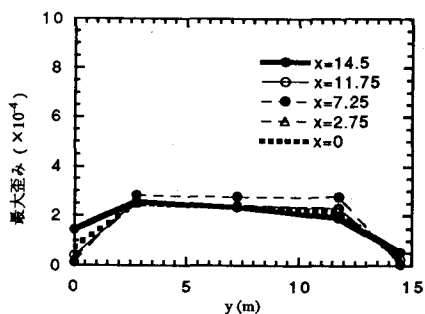
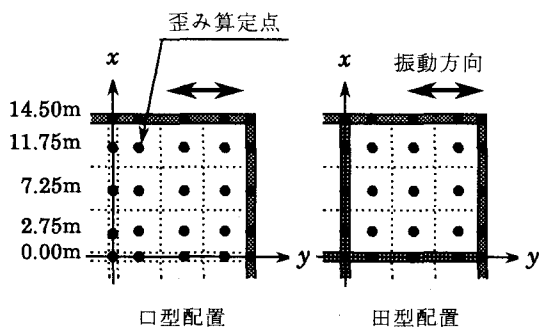


図8. 田型配置の最大せん断歪の平面分布(EL. -17.5m)

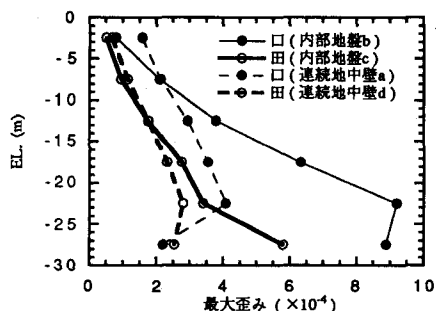


図9. 口型と田型配置の最大せん断歪の深さ方向の分布

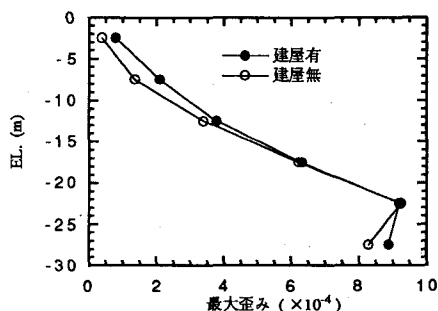
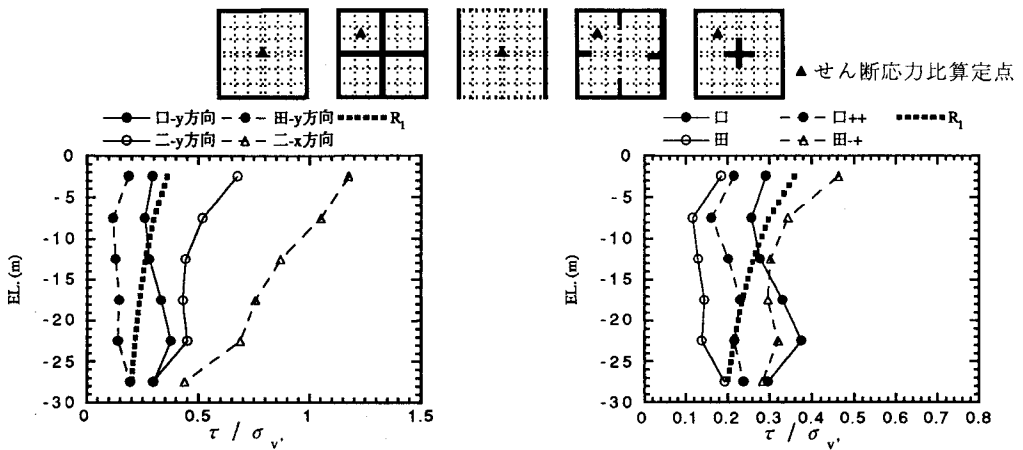


図10 内部地盤の最大せん断歪み分布(口型配置)

であるとみなせ、これに基づいて内部地盤の物性(せん断剛性や減衰定数など)を評価できることを意味している。ところで、図10は、口型配置の場合について、上部構造物および基礎質量を取り除いた解析モデルを新たに解析した場合の最大せん断歪の深さ方向の分布を示しているが、上部構造物や基礎を忠実にモデル化した場合の結果とはほとんど差がない。つまり、内部地盤の振動抑制効果の評価を行う場合には、上部構造物の影響は無視できるくらいに小さく、連続地中壁の配置や3次元的な波動逸散を考慮した解析モデルによって評価できると考えられる。

次に、連続地中壁配置による液状化対策の観点から、図11に連続地中壁の配置方法をパラメータとして、内部地盤のせん断応力比 τ/σ_v' (σ_v' は有効上載圧) の深さ方向の分布を示す。同図中には、地下水位を地表面とし、 N 値を15とした場合の動的せん断強度比 R_1 ⁴⁾ を参考のために示す。図より明らかなように、二型配置による内部地盤の非線形性抑制はあまり期待できず、特に振動方向に対して面外変形となる地中壁の場合(二型配置の x 方向入力の場合)には殆ど期待できない。これに対して、口型や田型配置のように格子状に連続地中壁を配置する場合には、内部地盤の非線形性抑制効果が期待できることがわかる。また、口型配置に対して地中壁を追加する場合には、田+型配置のように振動方向に対して面外変形となる地中壁の面外剛性を大きくするような配置方法よりも、口++型配置のように内部地盤を小さく分割するような配置方法の方が、内部地盤の非線形性抑制に効果的であることが分かる。ここで興味深い点は、田+型配置の場合には、振動方向に対して面外変形となる地中壁の面外剛性を大きくしたことによって周辺地盤から受ける力が増加し、かえって地表面付近のせん断応力が大きくなり、内部地盤の非線形性抑制には逆効果となっている事である。



(a) 口型、田型、二型配置の比較

(b) 口型、田型、口++型、田+型の比較

図11 内部地盤のせん断応力比と液状化抵抗との比較

5. まとめ

連続地中壁による地盤の非線形性抑制効果を把握するために、3次元FEM/BEMハイブリッド法を用いて、連続地中壁の配置方法をパラメータとした数値解析を行った。解析結果の考察から、i) 連続地中壁の配置方法の差は構造物の応答にあまり大きな影響を及ぼさないこと、ii) 田型配置や口++型配置のように内部地盤を小さく分割するように地中壁を配置することが、内部地盤の非線形性抑制に有効であること、などを指摘した。また、内部地盤の振動抑制効果が十分な場合には、上部構造物の影響を取り除いた解析モデルによって内部地盤の物性(せん断剛性や減衰定数など)を評価できる可能性があることを示唆した。

参考文献

- 1) 福武他: "3次元液状化解析による部分改良地盤の効果の予測"、地盤の液状化対策に関するシンポジウム、土質工学会、1991年2月
- 2) Takahashi, I. et al.: A Study on Impedance Functions and Input Motions of Embedded Foundations by a Hybrid Approach, Proc. of 10th World Conference of Earthquake Engineering, Vol. 3, 1992
- 3) 高橋、林: "連続地中壁の配置方法を考慮した構造物と地盤の3次元動的挙動に関する研究"、日本建築学会大会梗概集、1993年9月
- 4) 社団法人 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説(V 耐震設計編)、平成2年2月