

(107) 鋼板セル構造—地盤系の動的特性

鹿兒島大学工学部 正員 ○河野 健二
 山口大学工学部 正員 古川 浩平
 住友金属工業(株) 正員 飯田 毅

1. まえがき

軟弱な地盤上に護岸等の建設を行なう場合の1つとして鋼板セル構造が挙げられる。このような構造物に対してその動的応答特性を明確にしておくことは、耐震性の検討を行なう上で重要であると考えられる。本研究では、鋼板セル構造が一般に海岸線に沿った長大な構造物であることから、地盤は平面ひずみ問題として扱い、鋼板セル構造はシアウェブを有する梁として簡単なモデル化を行なった。そして、全体系を二次元の有限要素法で表わし動的応答解析を行なった。地盤は側方で粘性境界を用いた有限化を行ない、基盤からの入力に対する応答解析を行なった。特に鋼板セル構造—地盤系の動的応答特性に及ぼす鋼板セル構造の影響について検討を加えた。

2. 定式化

本解析では、鋼板セル構造が一般に海岸線に沿った長大な構造物であることから、地盤を含む鋼板セル構造系を平面ひずみ問題として扱うことにする。これより地盤は二次元の有限要素法によって離散化されるが、側方境界は粘性境界によって表わす。鋼板セル構造はセル内の中詰土の影響を受けて剛体的な挙動を示すことも考えられる。しかし、鋼板セル構造は曲げ特性も有すると思われるので、薄いシアウェブを有する梁とした場合の動的特性についても検討する。そこで、鋼板セル構造—地盤系のモデル化をFig. 1に示すように行なう。一般に鋼板セル構造の二次元的な扱い方としてはその剛性の変化に注目し、平面ひずみ要素として表わす方法や殻あるいは薄板として表わし、その特性を地盤要素の中に取り入れる方法が考えられる。本解析では、鋼板セル構造を薄板（シアウェブ）を有する梁要素として表わした。また、鋼板セル構造の側方部では一般に海水等による動的な影響を受けるが、本解析ではこれらの効果は考慮せず、鋼板セル構造—地盤のみを扱っている。このように地盤—鋼板セル構造系を二次元領域で表わすと剛性マトリックスや質量マトリックスは容易に求められる。一方側方境界を粘性境界を用いて表わすと、それによる減衰マトリックスは境界における各節点変位の速度に比例した形で求められる。また、境界以外の要素内では内部減衰の影響を考慮した減衰マトリックスが求められる。これより地盤—鋼板セル構造系の運動方程式は次式で表わされる。

すなわち

$$\begin{bmatrix} Z_{ss} & Z_{sb} \\ Z_{bs} & Z_{bb} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_s \\ x_b \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_s \\ F_b \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ただし、添字 s、b に対応する $[Z_{sb}]$ は

$$[Z_{sb}] = -[K_{sb}] - \omega^2 [M_{sb}] + i\omega [C_{sb}]$$

と表わされる。ここで添字 s は自由節点の変形に対応するものであり、添字 b は基盤上の変形に対応している。いま地震動のように基盤からの入力を考える場合、一般にとなり、自由節点の変位ベクトル $\{x_s\}$ は

$$\{x_s\} = -[Z_{ss}]^{-1} [Z_{sb}] \{x_b\} \quad (2)$$

と表わされる。この場合基盤上での入力 $\{x_b\}$ が自由地盤上での入力であるとする、反射波による影響は基盤で吸収されたことになる。一般に式(2)の $[Z_{ss}]^{-1}$ は振動数に依存し

ておりその計算は多大な計算を必要とするが、固有値解析を利用することによって効果的に行なうことができる。すなわち自由節点のみに対する運動方程式において、非減衰時の固有値解析を行ない、そのモーダルマトリックスを $[\Phi]$ 、固有振動数を $[\omega_j]$ で表わすと

$$\{x_s\} = -[\Phi](\Gamma\omega^2 - \omega^2 I + i\omega[\tilde{c}])^{-1}[\Phi]^T[Z_{sb}]\{x_b\} \quad (3)$$

となる。ここで $[\tilde{c}]$ は $[\Phi]$ で変換された減衰マトリックスである。この場合、逆マトリックスの計算は卓越振動モードのみを用いることによって容易に行なうことができる。本解析では式(1)および式(2)を用いて基盤からの正弦波入力による動的応答解析と実地震波による地震応答解析を行ない、鋼板セル構造-地盤系の動的応答特性について検討する。

3. 数値解析

鋼板セル構造の動的応答特性を調べるため、Fig. 1に示すようなモデルを用いて解析する。地盤-鋼板セル構造系は振動特性の異なる部分から構成されており、その応答特性を把握しておくことは、耐震性の検討をする上でも必要である。鋼板セル基盤の側方は一般に海水等の影響を受けるが、本解析ではこの影響は考慮しておらず鋼板セル構造-地盤系の応答特性のみに注目している。

Fig. 2は中詰土を含むセル構造が仮に一つの剛体的な運動する場合、その動的特性を表わす回転振動に対するインピーダンス関数を示したものである。セル基盤の深さは20mと30mの場合であり、振動数 ω に対する変化を示している。バネ特性を表わす k_θ は振動数の増加とともに漸減する傾向を示している。また減衰特性を表わす c_θ は振動数とともに漸増する傾向を示している。特に地盤系の動的特性をこのような形で表わす場合、静的バネ定数の大きさと、応答を支配する卓越振動数での k_θ と c_θ の値の評価が応答に大きな影響を及ぼすものと考えられる。

Fig. 3は鋼板セル構造に相当する部分を剛性の異なる地盤に置換し、その剛性を高くして応答特性を調べたものである。入力は基盤からX方向に単位大きさの正弦波であり、この図は基礎の大きさは深さ20m、幅10mの基礎の上部におけるX方向の応答を示している。地盤だけの応答も同時に示してあるが、基礎部のせん断波速度が300m/s、あるいは500m/sと高くなると、二次の共振で大きな応答が見られる。基礎を剛体的に扱った場合、全般に地盤と類似した応答を示すが、振動数が10rad/sを越えるとその応答は大きく減少する傾向が見られる。またセル基礎部を剛体的に扱った場合、地盤との動的相互作用によって特に二次の共振点で大きな応答を示している。次に、鋼板セル基礎を含む地盤系の応答がこのような剛

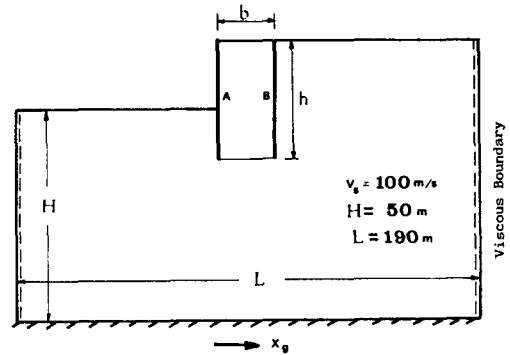


Fig.1 Analytical model of Steel Plate Cellular Bulkheads-soil system

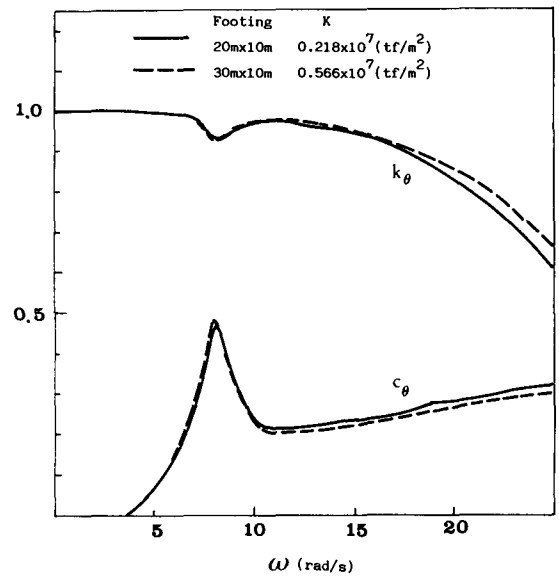


Fig.2 Impedance Functions

体的な場合の応答とどのような対応を示すのかについて調べる。

Fig. 4は鋼板セル基礎-地盤系の応答を示したものであり、基礎の大きさは深さ20m、幅10mの場合である。鋼板セル基礎は2.で述べたように薄板を有する梁として扱っているが、Fig. 1のモデルにおいてA, Bの梁部を連結する部材の影響によってその動的応答特性が異なる。この破線で示されるような場合A, Bの梁部を連結する部材の影響がなくなると、ほとんど鋼板セルの特性は表われない。一方このA, Bの梁を連結する部材の断面積を5倍にすると、鋼板セル構造の動的特性が表われるが、前述した剛基礎的な場合とは異なったものとなる。鋼板セル構造が曲げ特性を示すことによって、鋼板セル部の応答は全般に減少する傾向を示している。特に鋼板セル構造に対する応答は剛体的な基礎で見られた二次共振点で、明確な応答の卓越が見られず一次と二次の卓越振動数が分離した形になる。

Fig. 5は鋼板セル構造のモデル化における梁部に相当する部材の断面積の変化がその応答に及ぼす影響について示したものである。この梁部の断面積の増加にともなって応答は全般に減少する。そして振動数が高くなると、この断面積の増加にともなって応答の減少の割合が大きくなる傾向が見られる。このため鋼板セル構造-地盤系の応答は鋼板セル構造の動的特性によって大きな影響を受けることがわかる。すなわち、鋼板セル基礎は地盤の一次の共振振動数の影響を受ける場合でも応答は若干の減少を示している。さらに二次の共振振動数では鋼板セル基礎の影響が明確に表われており、応答の大幅な減少が見られる。このように地盤-基礎系の振動において基礎を剛性の高い構造物として扱った場合、その動的特性は地盤の振動に類似した形となり、地盤振動の影響が大きい。これに対して鋼板セル構造-地盤系の応答は鋼板セル構造の振動特性が強く表われており、セルの断面積が増加し、その剛性が高くなるに従って応答は減少することがわかる。

Fig. 6は鋼板セル基礎が深さ10m、幅10mの場合の基礎上部における応答を示したものである。基礎が浅くなった場合、鋼板セル構造の断面積の増加にともない応答が減少することがわかる。また、その応答特性は鋼板セル構造を剛性の高い地盤基礎とした場合の応答とも相違していることがわかる。剛性の高い基礎とした場合の応答と比べて全般に鋼板セル構造の応答は若干増加する傾向が見られる。そして、この鋼板セル構造の応答は基礎が深い場合の応答とよく類似しているが、二次の共振振動数付近の応答は基礎の深さの増加すると、より減少する傾向が見られる。従って鋼板セル構造-地盤系の動的応答特性は、特に鋼板セル構造の剛性によって大きな影響を受けることがわかる。このため本解析のように二次元領域でのモデル化を行なった場合においても、その動的応答解析においてはセル構

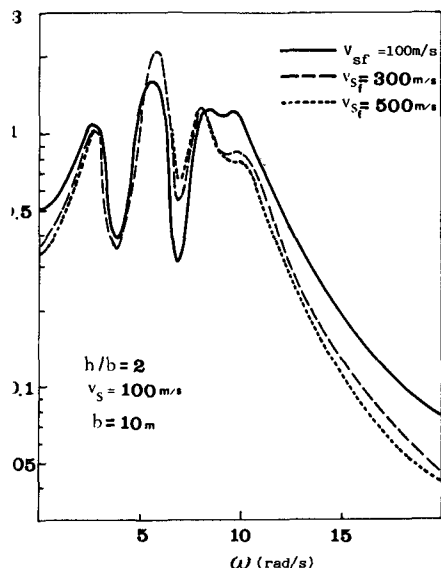


Fig.3 Frequency Response Functions

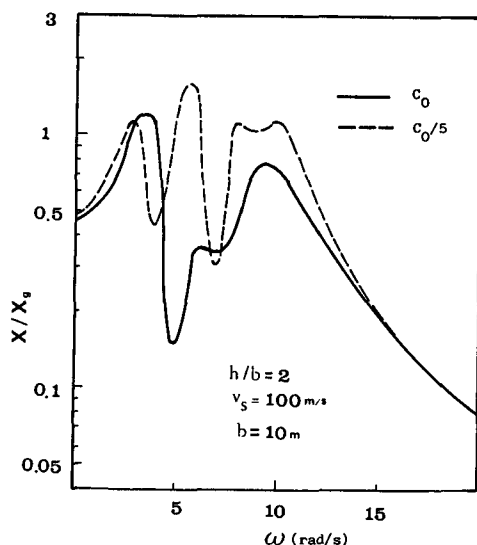


Fig.4 Frequency Response Functions

造のモデル化に注意する必要がある。

Fig. 7は地震応答解析の結果から得られた鋼板セル構造の応答特性を示したものである。鋼板セル構造は深さ20m、幅10mの大きさであり、基盤にEL Centro NS (1940)成分を最大加速度200galとして入力した場合の鋼板セル基礎の上部における応答に対して求めた5%の減衰に対する変位応答スペクトルである。地盤のみの場合の応答に比べて鋼板セル構造の断面積の増加にともない応答は全体的に減少する傾向のあることがわかる。この鋼板セル構造-地盤系の卓越振動数は1.8秒と0.7秒であるが、これらの点での応答の相違がそのまま地震応答解析の結果に反映されていることがわかる。このように全体系解析を行なうと、鋼板セル構造の面内剛性の影響を受けて地盤だけの場合に比べて、その応答は減少する。このため鋼板セル構造が護岸等として利用される場合、その動的特性によって応答の減少が期待される。

4. あとがき

鋼板セル構造-地盤系を二次元モデルで表わしその動的応答特性について検討を加えた。鋼板セル構造を薄いシアウェブを有する梁として表わすと、その応答特性は剛体基礎的な扱い方をした場合とは異なっている。鋼板セル構造によってそれを含む地盤系の変位応答が減少する傾向が示される。

最後に原稿作成にご協力いただいた鹿児島大学工学部愛甲頼和技官に感謝します。

参考文献

- 1) 野田、北沢、飯田、森、田；根入れ鋼板セル護岸の模型振動実験、第6回日本地震工学シンポジウム論文集、1982
- 2) 竹宮、三並；鋼板護岸セル構造物の応答性状、中国-四国年次講演集、S59.
- 3) J.Lysmer and R.L.Kuhlemeyer; Finite dynamic model for Infinite media, Proc. ASCE, EM4(1969)

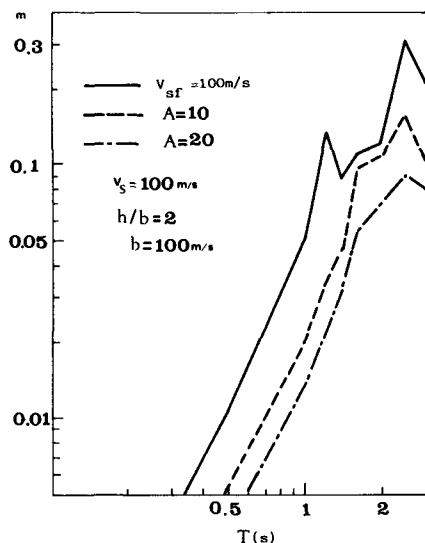


Fig.7 Displacement Response Spectra

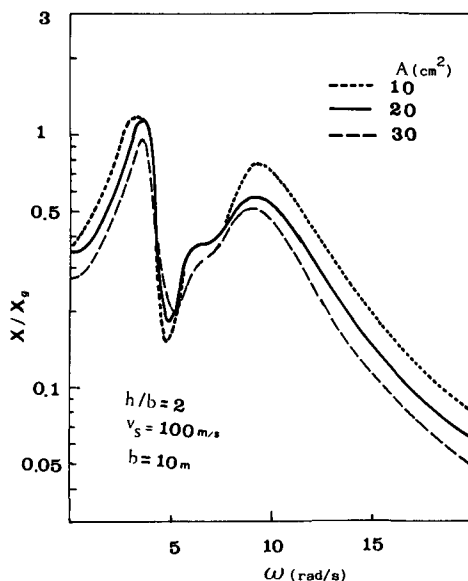


Fig.5 Frequency Response Functions

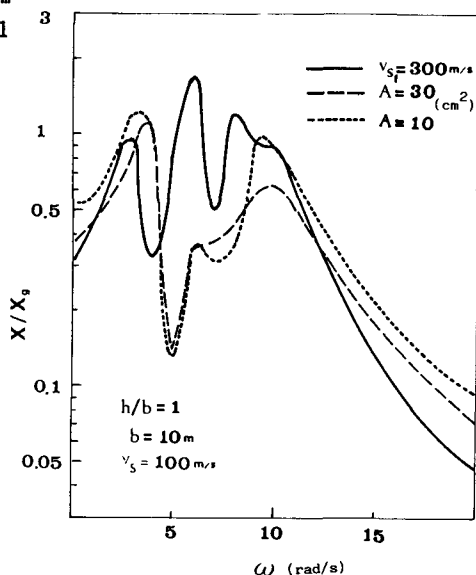


Fig.6 Frequency Response Functions