

阪神高速道路公団	正員	北沢正彦
阪神高速道路公団	正員	江見 晋
八千代エンジニアリング	正員	桶田憲一
八千代エンジニアリング	正員	中田恒和

1. まえがき 基礎構造物の耐震設計においては耐震設計上の地盤面より下方の構造部分、土等に対しては一般に設計水平震度を考慮しないこととしている。しかしながら、長大構造物の基礎となる大型ケーソンのような場合は必ずしも周辺地盤と同じ動きをするものとは考えにくく、地震時に地盤の中で相対的な加速度を受けることがある程度想像される。本報告は、大型ケーソンの設計に当って、ケーソン躯体に考慮すべき震度の評価を地盤と基礎との動的な相互作用に対する検討から行ったものである。

2. ケーソン基礎の耐震設計上の問題点 ケーソン基礎の設計は一般にばね支持された剛体モデルを考え、地中部では地盤と基礎との挙動が概ね同じになると判断して躯体への地震力は一般に考慮しないこととしている。しかし、大型ケーソンの場合にはばね-マス系の剛体振動モデルにより地震力を考慮している例もある。しかしながら、その場合でも周辺地盤とケーソンとの動的相互作用を考慮してはいない。すなわち、実際には基礎の周囲には質量を有する地盤があり、基礎を単にばねで支持させるモデルでは基礎の運動が周囲の地盤の運動に影響を与え、与えられることがなく、運動のエネルギーのやりとりがなされないため、いわゆる逸散減衰効果を生じることがない。他方、ばねで表現する場合においても、基礎が地中地盤の動きと同じような動き方をするならば振動時にあっては、みかけのばねはむしろやわらかくなることが考えられ、一定のばね定数を与えることには基本的に無理があるのかもしれない。ここでは以上のことから2次元ではあるがFEMモデルを用いた地震応答解析によりケーソンの地震時の設計について検討を行った。検討の対象としたケーソンは大阪湾岸線の東神戸水路橋（仮称）（中央径間485mの斜張橋）の主塔基礎であり、最終的にその平面寸法は、35m×32mと設計されている。

3. 換算震度の考え方 FEM地震応答解析で検討されたことを設計に反映するために、簡易な道示モデルを用い、動的応答と等価な震度を作用させることを考えた。すなわち、ケーソンの安定計算上のポイントとなる地盤反力、特に地震力すなわち水平方向の力に着目するという意味で前面地盤の反力度とその分布が等価となるように換算震度を求めることとした（図-1）。ちなみに、FEM地震応答解析では地盤定数の歪依存性を考慮して

行っており、換算震度を得た道示モデルと同じモデルのばね定数を設計に用いておけば、事実上ばねの強さを問題にする必要がないことになる。

4. FEM地震応答解析 (1)入力地震動 地震波はタフト、エルセントロ、八戸の3波の基盤波形を用いることとし、まず地盤のみの応答解析を重複反射理論により行い、FEM解析を行う場合の基礎位置での加速度波形を取り出し、応答スペクトルの形に直してこれを入力とすることにした。なお、地盤応答解析における基盤での最大応答加速度は、明石架橋に関する調査報告（土木研究所資料1973号）に準じ160gal（1種地盤、100年期待値）とした。ちなみにFEM基盤での最大加速度は波形により多少異なるが101～115galとなっている。図-2に入力用の応

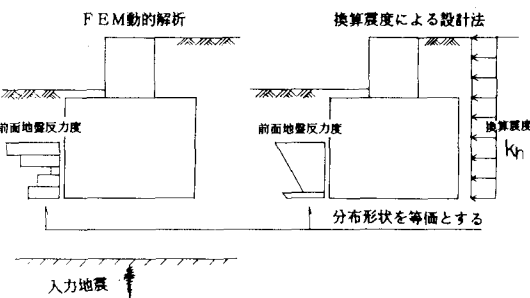


図-1 換算震度の概念

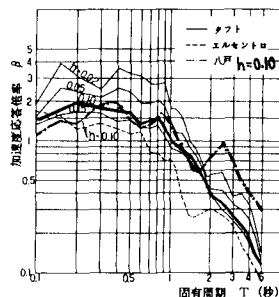


図-2 FEM動的解析の入力スペクトル

答スペクトルの1例を示す。

(2)解析モデル モデルは図-3のように上部工～下部工～地盤の全体モデルとするほか、上部工を取り除いたケースについても検討した。モデル化に当たって以下の点に注意した。①ケーソン下方15m以深にある厚い洪積粘土のせん断変形挙動を考慮するようにFEM基盤をその粘土層の下に砂礫層上面にとることにした。②地盤の横方向のモデル化範囲はケーソン幅の約5倍の長さを左右にとった。地盤端部の境界条件は側端部で鉛直固定・水平可動とし、ケーソン側面と地盤との境界条件は鉛直方向に滑動しうるようにした。③地盤が複雑な互層であるのでこれを表現した薄いメッシュ切りとした。地表面の形状については、橋軸方向には護岸部の形状をそのまま表わし、橋軸直角方向には海底面で水平とした。④地盤定数は地盤応答解析における最大応答歪レベルに応じたG、hを与えた。⑤奥行き方向の地盤によるおさえの効果を換算するように地盤のE、 ν を与えた。

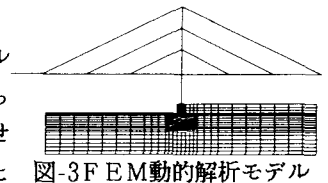


図-3 FEM動的解析モデル

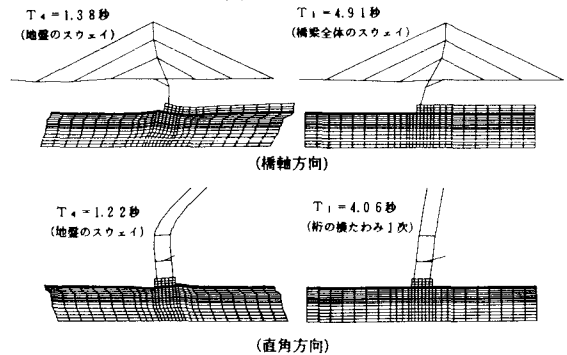


図-4 代表的モードとその固有周期

(3)固有周期およびモード 図-4に代表的なモードとその周期を示す。これより次のことが言える。

①上部工が4～5秒の長周期構造物であり、地盤の固有周期と相当離れるので両者の連成が生じにくい。②地盤のスウェイのモードにおいてはケーソンもその動きに追随しており、ケーソンがいわば気中にあってばね支持された場合のような顕著なロッキングモードは現われてこない。地盤のスウェイモードは特に洪積粘土層と沖積粘土層とで大きい。

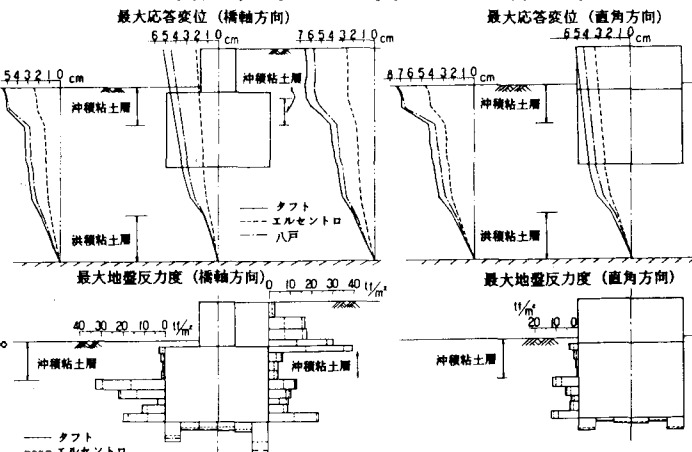


図-5 入力地震波の違いによる最大応答値の比較

(4)応答解析結果 解析結果を図-5に示す。その概要を以下に列記する。①上部工をつけたモデルとつけないモデルとでは地盤応力および変位の応答の差が全くなかった。これは(3)-①の理由によると考えられる。

②ケーソン部の変位はケーソンより離れた点の地盤変位より小さく、変位を抑制する効果がみられる。③ケーソンは地盤に引きずられて動いており、ロッキングは少なくスウェイが卓越している。④ケーソン前面の地盤応力度は、橋軸直角方向に比べ橋軸方向の場合に応答が約2倍大きくなっている。これは護岸部があることによる慣性力の影響と思われる。

(5)換算震度 図-6に前面地盤反力を等価にする換算震度を示す。結果として橋軸方向に0.2、橋軸直角方向に0.1という値を得た。この差異は(4)-④の理由による。

5. あとがき 本検討に当たって湾岸線技術委員会耐震設計幹事会(主査:山田善一京都大学教授)の委員の方々の御指導を得られたことについて深く感謝致します。

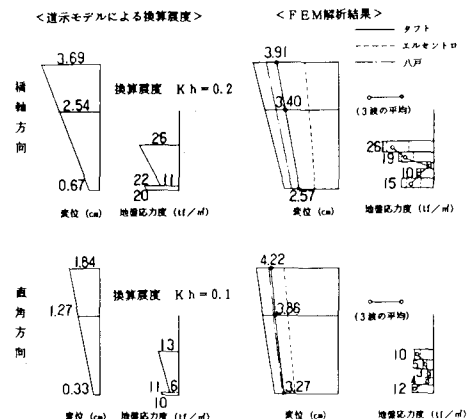


図-6 地震応力に着目した換算震度の算定