

曲面外壁を有する新構造ハイブリッドケーソンの応力解析

日立造船 正会員○祐保芳樹 港湾技研 正会員 横田 弘
同 上 正会員 松野 進 同 上 正会員 山田昌郎
同 上 正会員 安田和宏

1. はじめに

鋼板とコンクリートを組み合わせたハイブリッドケーソンは、軽量で剛性が高いことから、浅海域の曳航が容易であること、またフーチング長を大きくとることができるために、地盤改良費を低減できるなど、多くの特長があり、これから多く採用されていくと考えられる。著者らは、さらにフーチング長を大きくするために、図1に示すようにケーソンの外壁に曲面構造を取り入れ、外壁とフーチングパネルから成るサンドイッチ構造を構成する新型ケーソン構造を提案したが¹⁾、これらの曲面外壁及びフーチング部の強度特性を確認するために波浪荷重でのFEM応力解析を実施した。

2. 解析モデル及び解析条件

平板に曲率を持たせて曲面に成形すると曲げモーメントに対して著しく高い剛性及び強度を持つようになることはよく知られている。そこで、解析モデルは、高さ30m、幅4.5m長さ30mのケーソンに、図2の隔壁形状に示すように、フーチング基部に5m及び10mの曲率半径を持たせたSHB5、SHB10モデル及び外壁全体に20mの曲率半径を持たせたSHB20モデルの3種類とした。

図3にSHB5の外形及び内部の隔壁、せん断補強材及びフーチング端部コンクリートの要素分割を示した。外壁は、鋼板及び鉄筋とコンクリートを含めた等価剛性をもつシェル要素とした。内部の鋼板隔壁は5m間隔で5枚配置し、鋼板せん断補強材は、隔壁間に1枚とした。フーチング部分は、コンクリートが厚いためソリッド要素とした。

地盤は、垂直方向に $k_y=1551\text{kN/m}^3$ 、及び水平方向に $k_h=19000\text{kN/m}^3$ の2方向バネとしてモデル化した。

図4に示すように最大波高5.2m、波長56m、周期6秒として合田式を用いて波圧荷重を計算した。

3. FEM解析結果

表1に強度解析結果を示す。図5に平板外壁(Type A)、平板斜めフーチング(Type B)、曲面フーチング(Type C)、曲率半径50m曲面外壁(Type D)の場合について、静水圧作用時の相当応力分布を示した。Type C及びType Dの応力は、断面Aでは平板の1/10、また、断面Bでは1/4.7で曲面外壁の方が発生応力は小さくなる。

図6に押し波荷重時の外壁前面及び後面の面内主応力分布を示す。押し波時、引き波時とも外壁には、フーチング基部の隔壁位置に高い応力が発生するが、曲率半径が大きくなるに従って曲面端とともに移動し、応力値は減少

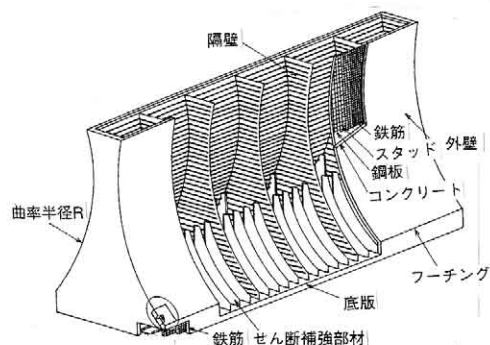


図1 曲面型ハイブリッドケーソン

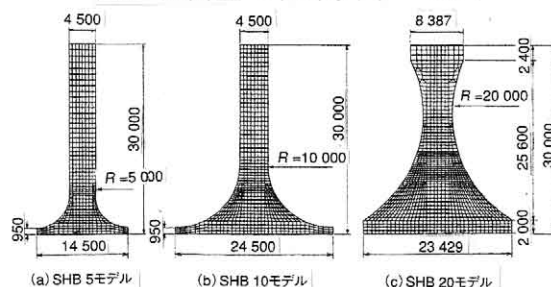


図2 隔壁のFEM解析モデル

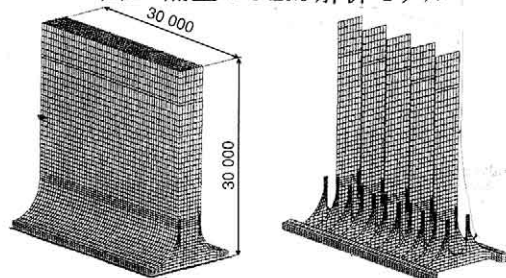


図3 外壁及び内部補強材のFEM解析モデル

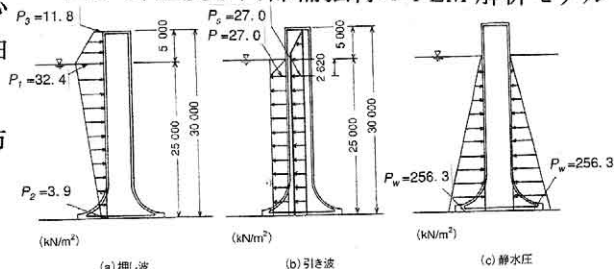


図4 設計荷重

キーワード：ハイブリッドケーソン、曲面シェル構造、FEM解析、フーチング、剛体判定

連絡先：〒551-0022 大阪市大正区船町 2-2-11 TEL06-6551-9239 matsuno@fluid.lab.hitachizosen.co.jp

表1 曲面型ハイブリッドケーソンの解析結果

荷重	項目	位 置		SHB 5		SHB10		SHB20		
				前面	後面	前面	後面	前面	後面	
押し波	発生応力 (kN/cm ²)	外壁 コンク リート	A	隔壁上	0.532	0.685	0.344	0.483	0.223	0.258
			B	補強材上	0.485	0.413	0.279	0.112	0.175	0.103
			C	端部	0.776	0.254	0.521	0.091	0.182	0.083
		隔壁	D	後凹部	18.6		7.7		2.9	
		補強材	E	後凹部	21.7		8.2		5.2	
	水平変位 (mm)	天端		116		41		25		
	地盤反力 (kN/m ²)	フーチング端		526		216		224		
引き波	発生応力 (kN/cm ²)	外壁 コンク リート	A	隔壁上	0.952	0.442	0.446	0.200	0.202	0.200
			B	補強材上	0.582	0.348	0.142	0.148	0.172	0.112
			C	端部	0.150	0.712	0.118	0.396	0.124	0.088
		隔壁	D	後凹部	28.0		11.2		9.6	
		補強材	E	後凹部	33.8		11.8		9.6	
	水平変位 (mm)	天端		76		21		13		
	地盤反力 (kN/m ²)	フーチング端		454		164		179		

する。特に引き波時の場合では、SHB20 は、SHB5 に比べてフーチング長が 1.84 倍になるにもかかわらず、外壁応力は、0.21 倍と小さくなる。これは、曲面構造を採用したケーソンの外壁応力は、底版と外壁とをスキンプレートとするサンドイッチ構造から求めることができるが、曲率半径が大きくなるに従って、曲面端が上昇し、サンドイッチ構造の厚さが増加する効果が生じることによって応力が減少するためである。また、これらの応力は隔壁位置での局所的な応力であるので隔壁部での若干の板厚増加によってさらに減少させることが可能である。内部隔壁及び補強材の応力減少率は、曲率半径が 5m から 20m になると、せん断補強面積も増加するため、それぞれ 0.15 倍及び 0.24 倍となり、曲面外壁の効果が良く現れている。

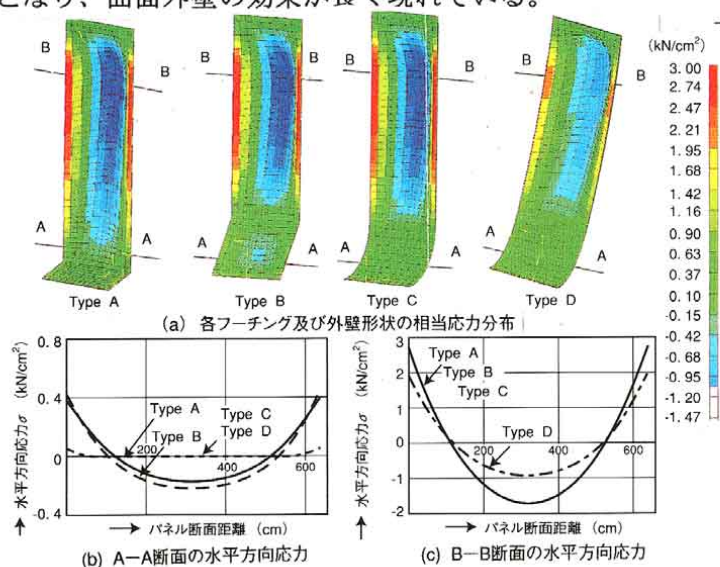


図5 静水圧による外壁の応力分布

図7に地盤反力分布を示すように、フーチング部の張り出し長が大きいほど地盤反力は小さくなる。例えば押し波時では CHB5 に対して CHB10 は 0.43 倍となる。地盤反力が小さくなれば、軟弱地盤に対応させることが出来るようになる。また、地盤反力分布もほぼ直線的であり、張り出し長が 10m 程度まで十分剛体であると考えてよいと言える。

4. まとめ

外壁に曲面を用いたケーソンについて静水圧及び波圧荷重による応力解析を実施した結果、応力の高くなる位置は、曲面外壁の曲面端で隔壁取付位置で局所的に発生する。応力値は、曲率が大きくなるほど減少する。サンドイッチ構造のフーチング張り出し長 10m の場合、N 値が 13.2 の硬質地盤でも剛体と判定できた。

参考文献 1) 松野進他：ハイブリッドケーソン構造部材の衝撃強度、土木学会第 53 回年次 (H10.10) 2) 財・沿岸センター：ハイブリッドケーソン設計マニュアル、(H11.6)

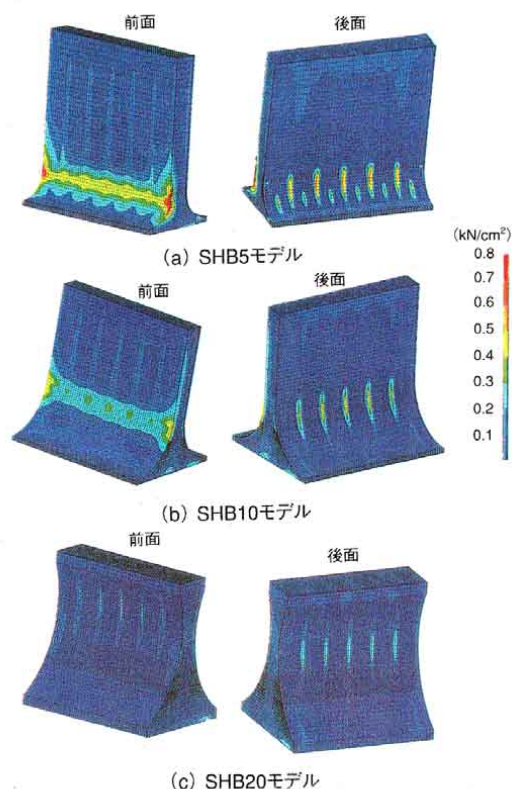


図6 押し波荷重時での外壁前面及び後面の最大主応力分布

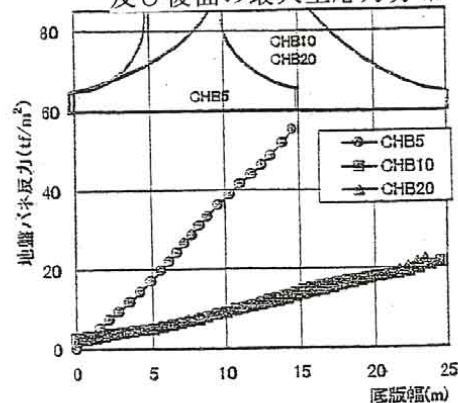


図7 押し波荷重時での地盤反力分布