

分布圧荷重が作用する合成曲面版の終局強度解析

日立造船 正会員○安田和宏 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 内田正道

1. はじめに

鋼板とコンクリートを組み合わせたオープンサンドイッチ型合成版は、止水性が高く、海洋構造物や貯水池及びサイロなどに適した構造材料である。そのため、ハイブリッドケーソンに用いられた場合の強度特性に関する研究¹⁾が行われている。しかし、これまでに海洋構造物に多く使用された合成版は主に平板に限られ、水圧荷重に対して有利な合成曲面版についてはほとんど研究が行われていない。本研究では、合成曲面版の強度特性を把握するための第1段階として、円筒形状合成曲面版の終局強度に関する非線形FEM解析を行った結果について報告する。

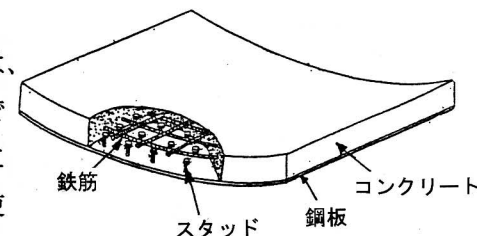


図1 合成曲面版の基本構造

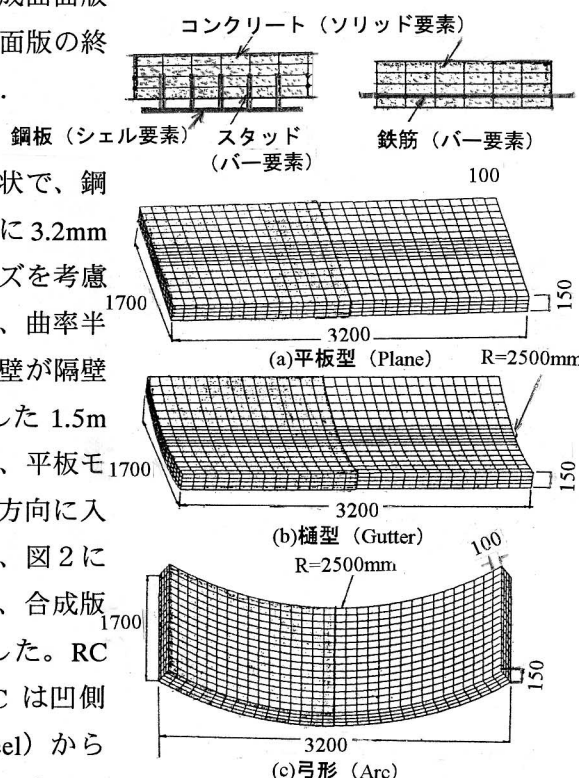


図2 解析モデル形状

2. 解析モデル及び解析条件

合成曲面版は、図1に示すように基本的には部分円筒殻の形状で、鋼板にスタッドを介して鉄筋コンクリートパネルを結合させ、凸側に3.2mm板厚の鋼板を配置した。解析モデルは、想定される実機のサイズを考慮すべきであるが、模型実験を検証する関係から1/2サイズとし、曲率半径を2.5m及び板厚を150mmとした。また、支持スパンは、外壁が隔壁及び補強材で支持される間隔を選択し、実機での3mを1/2倍した1.5mとした。4辺の境界条件は単純支持とした。解析モデルの形状は、平板モデルと正方形版の中央に一本の補強材を母線方向あるいは円周方向に入れて補強した場合の剛性及び崩壊荷重を検討出来るように考え、図2に示す平板型 (Plane)、樋型 (Gutter)、弓形 (Arc) とした。また、合成版 (HB)との比較を行なうために鉄筋コンクリート (RC)版を追加した。RC版の鉄筋比は、鋼板と同一になるようにした。荷重方向は、RCは凹側 (Concrete) からのみ載荷させ、合成版は、凹側及び凸側 (Steel) から分布圧を作用させた。従って、解析ケースは、表1に示す9種類である。

コンクリートは、板厚方向に4分割し、幅方向に100x50mmのソリッド要素とした。鋼板及びスタッドは、各々板要素、棒要素とし、コンクリートとスタッドとは厚さ方向に3つの節点で結合させた。また、RCモデルの鉄筋は棒要素を用い、コンクリートと1/4層位置で結合させた。図3に鋼材及びコンクリートの物性値を示すが、両材料ともbi-linearでモデル化した。分布圧は受圧面に等分布荷重を作用させた。解析には汎用ソフトLS-DYNAを用いた。

3. FEM 解析結果

図4に荷重と版中央のたわみの関係を示す。表2に最大荷重と初期剛性の解析結果を示した。4辺単純支持された合成曲面版の凹のコンクリート側から分布圧を作用させた場合、平板HBPCは、0.35MPaからたわみ

表1 解析モデル名称と荷重方向

No.	名称	形式	荷重方向
1	HBPC	合成版 HB	凹側 C
2	HBGC		
3	HBAC		
4	HBPS		凸側 S
5	HBGS		
6	HBAS		
7	RCPC	鉄筋コン クリート 版RC	凹側 C
8	RCGC		
9	RCAC		

キーワード：合成曲面版、非線形FEM解析、終局強度、初期剛性、降伏線理論、平板崩壊荷重
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

の増加率が増し、0.59MPaにおいて急増した。曲面版 HBAC の場合、0.3MPa においてコンクリートの局所的な圧壊が生じ、若干たわみが増加するが、その後回復し、0.6MPa でたわみが急増して崩壊した。

HBGC の場合、0.17MPa で長辺中央においてコンクリートの局所的な圧壊が発生し、剛性が低下し、0.47MPa からたわみが漸増するが最大荷重は、HBPC と同一であった。合成曲面版の凸の鋼板側から分布圧を作用させた場合、HBPS は、引張り荷重を分担する鋼板がないために 0.2MPa で崩壊するが、HBAS、HBGS では崩壊荷重がそれぞれ 0.74 MPa、1.04MPa となって凹側載荷の HBPC の場合よりも 23%から 73%まで増加した。

合成曲面版の凹側から載荷する場合には、曲面版には曲げ応力及び引張膜応力が支配的になる。一方、凸側から分布圧を作用させると曲面版には曲げ応力及び圧縮膜応力が支配的になる。したがって、圧縮に強いコンクリート複合部材では、凸側からの載荷に対して曲面版が特に有利となる。

一方、RCPC、RCAC、RCGC の最大荷重は、それぞれ 0.36 MPa、0.15 MPa、0.28 MPa と HBPC に比べて 25%から 60%と小さく、同一鉄筋比では、合成曲面版の方が、強度特性が優れている。図 4(a)中に HBPC について降伏線理論²⁾ ($p_{max}=0.67\text{MPa}$) 及び平板のミーゼスの破壊則に基づいた平板の崩壊荷重²⁾を ($p_{max}=0.48\text{MPa}$) 示したが、最大荷重の FEM 解析値は、HB 凹では、降伏線理論でほぼ推定できる。また、平板の崩壊荷重理論値よりも 125%から 139%大きい結果となった。

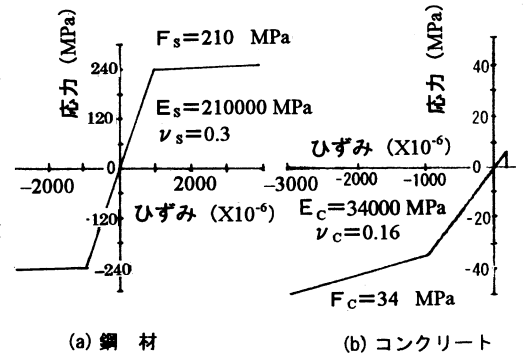
表 2 中に初期の圧力 0.02MPa でのたわみ剛性を示したが、凹側載荷では、弓形形状の剛性が高く、凸側載荷では樋形状及び弓形形状とも剛性が増加した。従って、部分円筒殻では、円周方向に補強材を配置して弓形にする方が強度特性に有利であると言える。また、変形量は凹側載荷の方が凸側及び RC に比べて非常に大きく靱性が高いことを示している。

4. まとめ

非線形 FEM 解析を用いて 4 辺支持合成曲面版に分布圧荷重を作用させた場合の強度特性を鉄筋コンクリート曲面版と比較した結果、最大荷重、変形能力及び初期たわみ剛性とも優れていることが分かった。

参考文献

- 1) 横田弘：鋼・コンクリートハイブリッド構造の力学特性ならびに海洋構造物への適用性に関する研究、港湾技研資料、No.750、1993.6、
- 2) 土木学会編：構造力学公式集、昭和 54 年



鋼材及びコンクリートの応力ひずみ関係

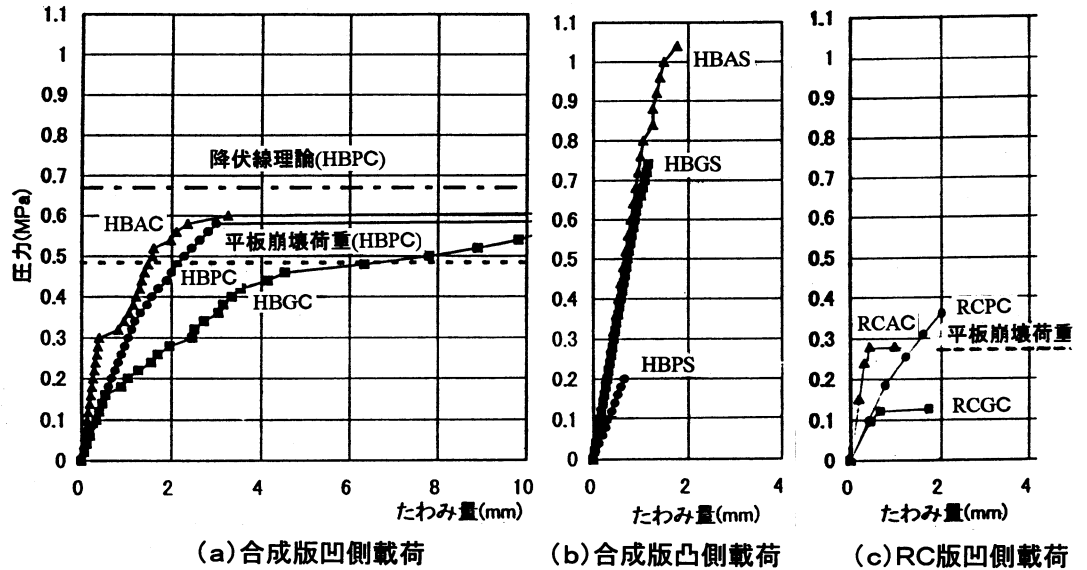


図 4 荷重とたわみの関係

表 2 解析結果

名称	最大荷重 p_{max} (MPa)	最大荷重比 k	初期 たわみ 剛性 K ($\times 10^4 \text{N/mm}^2$)	たわみ 剛性比 m
HBPC	0.6	1.00	159	1.00
HBGC	0.6	1.00	159	1.00
HBAC	0.67	1.12	415	2.61
HBPS	0.2	0.33	180	1.13
HBGS	0.74	1.23	389	2.45
HBAS	1.04	1.73	421	2.65
RCPC	0.36	0.60	132	0.83
RCGC	0.15	0.25	122	0.77
RCAC	0.28	0.47	365	2.30